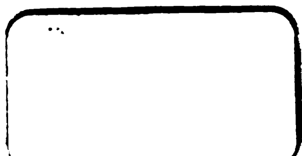

SIGILLUM ACADEMIAE HARVARDIANAE IN NOV ANG
VE RI TAS
CHRISTO ECCLESIAE



ANNALES

DES MINES.

COMMISSION DES ANNALES DES MINES.

Les Annales des Mines sont publiées sous les auspices de l'administration générale des Ponts et Chaussées et des Mines, et sous la direction d'une commission spéciale formée par le Ministre des Travaux Publics. Cette commission est composée, ainsi qu'il suit, des membres du conseil général des mines, du directeur et des professeurs de l'École des mines, et d'un ingénieur, adjoint au membre remplissant les fonctions de secrétaire :

L'administration a réservé un certain nombre d'exemplaires des Annales des Mines pour être envoyés, soit à titre de don aux principaux établissements nationaux et étrangers, consacrés aux sciences et à l'art des mines, soit à titre d'échange aux rédacteurs des ouvrages périodiques français et étrangers, relatifs aux sciences et aux arts. — Les lettres et documents concernant les Annales des Mines doivent être adressés, *sous le couvert de M. le Ministre de l'Agriculture, du Commerce et des Travaux Publics, à M. le secrétaire de la commission des* Annales des Mines, rue du Bac, n° 41, à Paris.

Avis de l'Éditeur.

Les auteurs reçoivent *gratis* 15 exemplaires de leurs articles formant au moins une feuille d'impression. Ils peuvent faire faire des tirages à part à raison de 9 fr. par feuille jusqu'à 50, 10 fr. de 50 à 100, et 5 fr. pour chaque centaine ou fraction de centaine à partir de la seconde. Le tirage à part des planches est payé sur mémoire, au prix de revient.

La publication des Annales des Mines a lieu par cahiers ou livraisons qui paraissent tous les deux mois. — Les six livraisons annuelles forment trois volumes, dont un consacré aux actes administratifs et à la jurisprudence. — Les deux volumes consacrés aux matières scientifiques et techniques contiennent de 70 à 80 feuilles d'impression, et de 18 à 24 planches gravées. — Le prix de la souscription est de 20 fr. par an pour Paris, de 24 fr. pour les départements, et de 28 fr. pour l'étranger.

PARIS. — IMPRIMÉ PAR E. THUNOT ET C°, RUE RACINE, 26.

ANNALES
DES MINES

OU

RECUEIL

DE MÉMOIRES SUR L'EXPLOITATION DES MINES

ET SUR LES SCIENCES ET LES ARTS QUI S'Y RATTACHENT;

RÉDIGÉES

Par les Ingénieurs des Mines,

ET PUBLIÉES

SOUS L'AUTORISATION DU MINISTRE DES TRAVAUX PUBLICS.

CINQUIÈME SÉRIE.

MÉMOIRES. — TOME XVIII.

PARIS.

DUNOD, ÉDITEUR,

SUCCESSEUR DE Vve DALMONT,

Précédemment Carilian-Gœury et V^or Dalmont,

LIBRAIRE DES CORPS IMPÉRIAUX DES PONTS ET CHAUSSÉES ET DES MINES

Quai des Augustins, 49.

1860

BIBLIOGRAPHIE.

—

SECOND SEMESTRE DE 1860.

—

FRANCE.

Delesse. Carte géologique souterraine de la ville de Paris. — Cette carte, exécutée d'après un système nouveau, fait connaître le sous-sol jusqu'aux plus grandes profondeurs qui aient été atteintes, et elle donne non-seulement la nature des terrains, mais encore leur relief.

Comme le terrain de transport forme une sorte de manteau par-dessus le sol de Paris, on a supposé qu'il avait été enlevé, et les teintes de la carte indiquent les divers terrains qui se trouvent immédiatement au-dessous de lui. Si l'on enlève l'un après l'autre les terrains qui composent le sous-sol parisien, on découvrira successivement autant de surfaces correspondant à chacun d'eux. Ces surfaces sont représentées par des courbes horizontales qui ont la couleur du terrain auquel elles appartiennent. La surface inférieure du terrain de transport a été figurée de la même manière.

Delesse. Carte hydrologique de la ville de Paris. — Les nappes d'eau souterraines qui existent au-dessous de Paris sont figurées sur cette carte. Leurs formes et leur mode d'écoulement sont indiqués par des courbes horizontales distantes de 1 mètre. Des cotes nombreuses marquent le niveau de l'eau dans les puits ordinaires, ainsi que dans les puits forés. En outre, les eaux provenant des différentes nappes ont été essayées avec l'hydrotimètre de MM. Boutron et Boudet, et le nombre de degrés obtenus qui représente leur dureté est inscrit sur la carte à la place où l'eau a été puisée.

La nature des terrains qui sont baignés par les nappes d'eau souterraines est d'ailleurs indiquée par des teintes spéciales qui correspondent à ces divers terrains, et plusieurs coupes géologiques se trouvent au bas de la carte.

ABBADIE (d'). Géodésie d'une partie de la haute Éthiopie, vérifiée et rédigée par Rodolphe Radau, 2e fascicule. In-4°. P. 217 à 360. — Paris, impr. Remquet, Goupy et compagnie; libr. Duprat.

CHABERT. Agenda agricole, année 1861. In-16. 240 p. d'agenda et 78 p. de données agricoles. — Strasbourg, impr. et libr. Ve Berger Levrault et fils; Paris, même maison.

Annales des conducteurs des ponts et chaussées, recueils de mémoires, documents et actes officiels concernant le service des conducteurs des ponts et chaussées. 1re partie. Travaux d'art, mémoires et documents. T. IV, 1860. In-8. 436 p. et 20 pl. — Paris, impr. et libr. P. Dupont.

AVEZAC (d'). Sur un globe terrestre trouvé à Lyon, antérieur à la découverte de l'Amérique. Note lue à la Société de géographie dans la séance publique du 21 décembre 1860. In-8. 29 p. et carte. — Paris, impr. Martinet.

BASSERIE. Question agricole-hippique. In-8. 24 p. — Morlaix, impr. Guilmer; Société d'agriculture de l'arrondissement de Morlaix.

BEUGNIOT. Mémoire sur une locomotive de montagne, système Beugniot, etc.; suivi d'un rapport de M. Lebleu, ingénieur des mines. In-8. 97 p. et 9 tableaux. — Mulhouse, impr. Baret, 1860.

Cours classique de géographie physique et politique à l'usage des lycées et autres établissements d'instruction publique, rédigé conformément au dernier programme officiel de l'université, pour accompagner l'atlas de géographie de M. Babinet. Classe de 3e. Description particulière de l'Europe. In-12. 259 p. — Paris, impr. P. Dupont; libr. Bourdin; L. Hachette et compagnie.

GIRARDIN. Analyse de l'engrais flamand. In-8. 12 p. — Lille, impr. Leleux, 1860.

GRENIER. Recherches sur le Posidonia Caulini (Konig). In-8. 16 p. — Paris, impr. Martinet.

LORY. Note sur la constitution stratigraphique de la haute Maurienne. In-8. 14 p. et pl. — Paris, Martinet.

ULRICH. Manuels-Roret. Nouveau manuel complet du teinturier. 2e partie, contenant de nombreuses recettes à l'usage des

teinturiers sur coton et sur laine, et une série de formules sur les opérations qui s'exécutent sur les fils de coton dans les ateliers de teinture de Rouen, de l'Alsace et de l'Allemagne, sur les tissus de coton dans les ateliers de Mulhouse, et sur les fils et les tissus de laine chez les teinturiers de Paris. In-18. 252 p. — Bar-sur-Seine, impr. Saillard; Paris, libr. Roret.

GIRARDIN. Du sarrasin comme substance alimentaire. In-8. 8 p. — Limoges, impr. Chapoulaud frères, 1860.

LE BLANC. Le mécanicien-constructeur ou atlas et description des organes des machines. Œuvre posthume de Le Blanc. Ouvrage à l'usage des écoles d'arts et métiers et formant le complément du choix de modèles appliqués à l'enseignement du dessin des machines; publié par Mme Le Blanc. La 1re partie revue, corrigée et augmentée par M. Félix Tourneux. La 2e et la 3e partie, par M. L. Chaumont. 1re partie. In-4. 50 p. et 25 pl. — Paris, impr. Raçon et compagnie; libr. Lacroix; L. Chaumont, 33, rue Saint-André-des-Arts.

MOLL et GAYOT. Encyclopédie pratique de l'agriculteur, publiée par F. Didot frères, fils et compagnie. T. IV. Biberon-Charrue. In-8. 476 p., avec figures dans le texte. — Paris, impr. et libr. F. Didot frères, fils et compagnie.

La botanique et la minéralogie. 14 planches in-4° sur carton, avec 342 sujets en couleur, renfermées dans un portefeuille. — Bruxelles, Kiessling et compagnie.

Annales de l'Observatoire impérial de Paris; publiées par U.-J. Le Verrier, directeur de l'Observatoire. Observations. T. XIII. In-4°. VII-482 p. — Paris, impr. et libr. Mallet-Bachelier.

BARDIN. Cours de dessin industriel. 1re partie, géométrie graphique. Choix d'exercices convenant aux écoles primaires supérieures, spécialement destinés aux élèves des classes de dessin industriel d'apprentis et d'adultes, et à ceux des écoles professionnelles, etc. In-fol. 10 p. — Paris, impr. Meyer; libr. Amyot.

BASSET. Guide pratique du fabricant de sucre, contenant l'étude théorique et technique des sucres de toute provenance, la saccharimétrie chimique et optique, la description et l'étude culturale des plantes saccharifères, les procédés usuels et manufacturiers de l'industrie sucrière et les moyens d'améliorer les diverses parties de la fabrication; avec de nom-

breuses figures intercalées dans le texte. In-8. XVI-848 p. — Paris, impr. Hennuyer; libr. E. Lacroix.

BODIN. Résumé d'agriculture pratique par demandes et réponses, ou Questionnaire agricole pour les écoles primaires rédigé d'après le vœu de la Société d'agriculture de Rennes, 2e *édition*, revue et augmentée. In-18. 176 p. — Coulommiers, impr. Moussin; Paris, libr. Dezobry et Magdeleine.

MASURE. Cours public de chimie organique, 2e année. Notions élémentaires sur l'organisation des plantes et des animaux, et sur les phénomènes chimiques de la vie végétale et de la vie animale. In-8. 148 p. — La Rochelle, impr. Siret.

SEELIGMANN. Essai chimique sur les eaux potables approprié aux eaux de la ville de Lyon. In-8. 41 p.— Lyon, impr. Barret.

BOURGUIGNAT. Malacologie terrestre et fluviale de la Bretagne. In-8. 178 p. et 2 pl. — Paris, imp. veuve Bouchard-Huzard; libr. Savy; J.-B. Baillière.

LEFÈVRE. De la nécessité d'établir une surveillance sur la fabrication des poteries communes vernissées au plomb. In-8. 8 p. — Paris, impr. Martinet.

BABINET. De la télégraphie électrique, ligne de jonction des cinq parties du monde. In-8. 48 p. — Paris, impr. Hennuyer; lib. nouvelle; Franck.

BARRAL. De l'influence exercée par l'atmosphère sur la végétation. Leçon professée à la Société chimique de Paris, le 4 mai 1860. In-8. 48 p. — Paris, impr. Lahure et compagnie.

Blanchissage du linge, étude comparative des divers systèmes. In-8. 25 p. et vignettes. — Paris, impr. Claye.

BOBIERRE. Études chimiques sur l'étamage des vases destinés aux usages alimentaires, etc. In-8. 26 p.— Nantes, impr. Mellinet.

DUMAS. Deux pièces historiques concernant les opinions de Lavoisier au sujet de la formation des êtres organisés, et celles de N. Le Blanc au sujet de la théorie des engrais. In-8. 18 p. — Paris, impr. Lahure et compagnie.

LAURENS et THOMAS. Production de la vapeur. Chaudière tubulaire à foyer amovible. In-8. 14 p. et pl.— Paris, impr. Claye.

LAURENT et CASTHELAZ. Recherches sur les rouges d'aniline ou rouges d'Hofmann. 1860. In-4°. 31 p. — Paris, impr. Malteste et compagnie.

LENGLET. Notice cosmologique, avec planche lithographiée. In-8. 19 p. — Douai, impr. Adam.

LE ROUX. Recherches sur les indices de réfraction des corps qui ne prennent l'état gazeux qu'à des températures élevées. Propositions de chimie, etc. In-4°. 49 p. et une planche. — Paris, impr. et libr. Mallet-Bachelier.

MELLEVILLE. Description géologique de la montagne de Laon. In-8. 27 p. — Paris, impr. Martinet.

PELOUZE et FREMY. Traité de chimie générale, analytique, industrielle et agricole; 3e *édition*, entièrement refondue, avec figures dans le texte. Tome IV. Chimie organique. 1re partie. Analyse. Acides. Alcaloïdes. Corps neutres. In-8. 740 p. — Paris, impr. Martinet; libr. V. Masson et fils.

WURTZ. Histoire générale des glycols; leçon professée à la Société, le 2 mars 1860. In-8. 39 p. — Paris, impr. Lahure et compagnie.

HAMERS. Mémoire sur l'emploi de la main-d'œuvre dans l'industrie, traitant spécialement des moyens d'accélérer le travail des ateliers sans augmenter le capital à y employer. In-8. 126 p. — Paris, imp. Lahure et compagnie; l'auteur, 59, avenue de Labourdonnaie; libr. Mallet-Bachelier et les principaux libraires.

Leçons de chimie professées en 1860 par MM. Pasteur, Cahours, Wurtz, Berthelot, Sainte-Claire Deville, Barral et Dumas. In-8. VIII-311 p. — Paris, impr. Lahure et compagnie; libr. Hachette et compagnie.

LOVE. Essai sur l'identité des agents qui produisent le son, la chaleur, la lumière, l'électricité, etc. In-8. XIX-296 p. — Neuilly, imp. Guiraudet. Paris, libr. Lacroix; librairie nouvelle; Le Doyen.

PENNETIER. De la réviviscence des animaux dits ressuscitants. (État de la question en 1860. — Nouvelles expériences.) In-8. 80 p. — Rouen, impr. Rivoire et compagnie.

PERRET. Études chimiques sur l'eau minérale de Bourdonneau (Drôme). In-8. 16 p. — Lyon, impr. Vingtrinier, 1860.

PIARRON DE MONDÉSIR. Calcul des ponts métalliques à poutres droites et continues. In-4. VII-74 p., 2 pl. et 2 tabl. — Paris, impr. Thunot et compagnie; libr. Dunod.

REGNAULT. Recherches sur les phénomènes consécutifs à l'amalgamation du zinc, du cadmium et du fer. In-8. 7 p. — Paris, impr. Martinet.

ÉTALLON. Paléontostatique du Jura. Jura graylois. Faune du terrain jurassique moyen. In-8. 33 p. — Lyon, impr. Barret.

PONTÉCOULANT (de). Observations sur le perfectionnement des tables de la lune et sur les deux inégalités à longues périodes que M. Hansen a proposé d'introduire dans le mouvement de cet astre. In-8. 22 p. — Paris, impr. Renou et Maulde.

VUIGNER. Docks-entrepôts de la Villette. Détails pratiques sur les diverses constructions de cet établissement. In-4. VIII-64 p. et atlas grand in-4 de 24 pl. — Paris, impr. Hennuyer; libr. Dunod.

LAMÉ. Leçons sur la théorie analytique de la chaleur. In-8. XXXI-414 p., avec figures dans le texte.— Paris, impr. et libr. Mallet-Bachelier.

LE GRAS. Renseignements hydrographiques sur les îles Bashee, les îles Formose et Lou-Tchou, la Corée, la mer du Japon (ports d'Hakodaki, Ne-e-Gate, Nangasaki, Simoda et Yédo) et la mer d'Okhotsk; mis en ordre et publiés; 2e *édition*. In-8. VIII-274 p. — Paris, impr. P. Dupont.

MATHIEU. Flore forestière. Description et histoire des végétaux ligneux qui croissent spontanément en France, et des essences importantes de l'Algérie, suivies d'une méthode analytique pour en déterminer les principales espèces pendant l'hiver, et précédées d'un dictionnaire des mots techniques; 2e *édition*, revue et augmentée. In-8. XXXII-453 p. — Nancy, imp. veuve Raybois; libr. Grosjean; Paris, libr. veuve Bouchard-Huzard.

REINÈKE. Description hydrographique des côtes septentrionales de la Russie; 1re partie. Mer Blanche. Traduction du russe par H. de Laplanche. In-8. 350 p. et 10 pl.—Paris, imp. P. Dupont.

ROSSI. Étude sur l'origine du diamant. In-8. 28 p. — Draguignan, impr. Gimbert.

WÖHLER. Nouvelle analyse chimique des aérolithes tombés au cap de Bonne-Espérance. Traduit de l'allemand par A. Rabuteau. In-8. 11 p. — Paris, impr. Noblet.

BRIOT. Leçons nouvelles d'arithmétique; 5e *édition*, revue et augmentée. In-8. 368 p. — Paris, impr. Bonaventure et Ducessois; libr. Dezobry et Magdeleine.

MALEYX. Note sur la résolution numérique des équations. In-8. 47 p. — Paris, impr. Thunot; libr. Hachette.

Catalogue chronologique des cartes, plans, vues de côtes, mémoires, instructions nautiques, etc., qui composent l'hydrographie française. In-8. 198 p. — Paris, impr. P. Dupont; libr. Ledoyen; Bossange.

BALY. L'Architecture privée au dix-neuvième siècle, sous Napoléon III. Nouvelles maisons de Paris et des environs. Plans, élévations, coupes, détails de construction, de décoration et d'aménagement; 1re livraison. In-folio. 4 planches gravées. — Paris, impr. Claye; libr. Morel.

DEBOURGE. Un mot sur les habitations insalubres, sur les dangers que présentent de telles demeures et sur les principaux moyens à mettre en usage pour leur assainissement. In-18. 35 p. — Mirecourt, impr. et libr. Humbert; Paris, comptoir de librairie et d'union, 43, rue Bonaparte.

Description des machines et procédés pour lesquels des brevets d'invention ont été pris sous le régime de la loi du 5 juillet 1844, publiée par les ordres de M. le ministre de l'agriculture, du commerce et des travaux publics. Tome XXXVI. In-4. 379 p. et 59 planches. — Paris, impr. impériale.

Distilleries agricoles du système Kessler, également applicable, avec le même matériel simple, peu coûteux et d'un emploi facile, au traitement de toutes les matières premières, aussi bien des matières sucrées, comme betteraves, carottes, etc., que des substances amylacées, comme la pomme de terre, les grains, etc.; préférable à toutes les autres et paraissant pour la première fois à une exhibition publique. In-8, 16 p. et 5 pl. — Metz, impr. Blanc; libr. Robinet.

ERNOUF. De l'emploi des phosphates minéraux en agriculture. In-8. 40 p. — Paris, impr. Chaix.

FIGUIER. L'année scientifique et industrielle, ou exposé annuel des travaux scientifiques, des inventions et des principales applications de la science à l'industrie et aux arts qui ont attiré l'attention publique en France et à l'étranger, 3e année. Grand in-18. 531 p. Carte et pl. — Paris, impr. Lahure; libr. Hachette, 1859.

LAUTH et DEPOULLY. Note sur les rouges d'aniline. In-4. 19 p. — Paris, impr. Raçon.

MARQFOY. Mémoire sur un nouveau système de télégraphie, permettant d'abaisser la taxe télégraphique en France. Grand in-8. 77 p. — Bordeaux, impr. Gounouilhou, 1859.

MITTRE. Mémoire sur les mines de pyrites de Saint-Jean-du-Pin, près d'Alais (Gard). In-4. 10 p. — Nîmes, impr. Clavel-Ballivet.

REY. De la séparation horizontale des terrains miniers, et de la

servitude de la mine sur la surface. In-8. 8 p. — Châlons-sur-Saône, impr. Dejussieu.

Traité de commerce avec l'Angleterre. Conseil supérieur de l'agriculture, du commerce et de l'industrie. Enquête. T. III. Industries textiles. Laine. In-4. xvi-784 p. — Paris, impr. impériale.

Buignet. Recherche sur la matière sucrée contenue dans les fruits acides; son origine, sa nature et ses transformations. Propositions de physique. In-4. 60 p. — Paris, impr. et libr. Mallet-Bachelier.

Cailletet. De l'iodure de soufre soluble (sulfure d'iode et de sodium). In-4. 6 p. — Charleville, impr. Pouillard.

Demeaux. Notice sur la télégraphie en Belgique. In-8. 48 p. — Paris, impr. Hennuyer; libr. Dunod.

Eudes-Deslongchamps. Mémoire sur les brachiopodes du Kelloway-Rock, ou zone ferrugineuse du terrain callovien dans le nord-ouest de la France. In-4. 56 p. et 6 planches. — Caen, impr. et libr. Hardel.

Ferguson. Notice sur les objets d'art trouvés dans le diluvium des environs d'Amiens et d'Abbeville. 1860. In-8. 41 p. — Amiens, impr. Yvert.

Ferrand. Les landes de Gascogne. Étude sur leur état actuel et sur les mesures à prendre pour hâter leur régénération. In-8. 71 p. — Paris, impr. Panckoucke.

Guillemin. Propagation des courants dans les fils télégraphiques. Propositions de chimie. In-4. 67 p. et 1 pl. — Paris, impr. et libr. Mallet-Bachelier.

Joly. Nouvelles expériences sur les effets de la garance mêlée aux aliments des mammifères et des oiseaux granivores. In-8. 8 p. — Toulouse, impr. Douladoure.

Kampffmeyer. Compte rendu sur le tannage accéléré de M. Knoderer. In-8. 22 p. — Strasbourg, impr. Silbermann.

Kirschleger. Flore d'Alsace, 3e volume, 2e partie. Guide du botaniste herborisateur et touriste à travers les plaines de l'Alsace et les montagnes des Vosges. In-12. P. 189 à 308. — Strasbourg, impr. Huder; les principaux libraires; l'auteur; Paris, libr. Baillière.

Krafft. Utilisation des menus combustibles sans valeur. In-8. 4 p. — Strasbourg, impr. Ve Berger-Levrault.

Lavoine. Journal des observations météorologiques faites à Metz pendant l'année 1859. In-8. 35 p. — Metz, impr. Blanc.

LEFEBVRE. Considérations historiques sur l'agriculture de la Provence. In-8. 38 p. — Lille, impr. Chenu.

MILNE-EDWARDS. Leçons sur la physiologie et l'anatomie comparée de l'homme et des animaux, faites à la Faculté des sciences de Paris. Tome VI. 1re partie. Appareil digestif. In-8. 348 p. — Paris, impr. Martinet; libr. Victor Masson.

Note présentée à M. le ministre du commerce, de l'agriculture et des travaux publics, sur la situation des industries houillère et métallurgique, à la suite du traité de commerce avec l'Angleterre. Chambre de commerce de Saint-Étienne. In-4. 31 p. — Lyon, impr. Perrin.

STOCKHARDT. La chimie usuelle appliquée à l'agriculture et aux arts. Traduit de l'allemand sur la onzième édition par F. Brustlein, préparateur au cours de chimie agricole au Conservatoire des arts et métiers. Grand in-8. 528 p. avec fig. — Paris, impr. Raçon; libr. agricole de la Maison rustique, 26, rue Jacob, 1861.

THÉVENIN. Conférences de l'association polytechnique, 1re série (1859). Le chaos, l'homme, l'agriculture, les chemins de fer, par MM. Babinet, Ph. Chasles, Barral, Perdonnet. In-16. 179 p. — Paris, impr. Lahure; libr. Hachette.

VALENTIN-SMITH. Étude statistique sur la Dombes. Notes sur les méthodes mathématiques employées pour déterminer la vie moyenne, par M. Clément-Desormes. Lettre de M. Guillebeau, maire au Plantay, sur le mouvement de la population dans la commune du Plantay. In-4. 80 p. — Lyon, impr. Perrin.

WOINEZ. Le macadamisage et le pavage à Paris. In-12. 33 p. — Paris, impr. Allard; bureau du Moniteur judiciaire des chemins de fer.

BOUCHÉ. Notice sur un nouveau système de tables trigonométriques, suite de la notice sur un nouveau système de tables de logarithmes à cinq décimales publiée dans le cinquième volume des mémoires de la Société académique de Maine-et-Loire. In-8. 24 p. — Angers, impr. Cosnier et Lachèse; Paris, libr. Mallet-Bachelier.

GIRAUD. L'homme fossile. In-8. 38 p. — Abbeville, impr. Briez; Paris, libr. Jung-Treuttel.

JULLIEN. Traité théorique et pratique de la métallurgie du fer à l'usage des savants, des ingénieurs, des fabricants et des élèves des écoles spéciales, comprenant les fabrications de la fonte, du fer, de l'acier et du fer-blanc, et précédé d'une

introduction concernant les principes sur lesquels repose cette industrie, avec un atlas de 51 pl. Texte. In-4. VII-400 p. — Paris, impr. veuve Bouchard-Huzard; libr. E. Noblet, 1861. Avec l'atlas.

ARMENGAUD. Traité théorique et pratique des moteurs à vapeur, comprenant les notions préliminaires de physique et de mécanique appliquées à l'étude de la vapeur, un aperçu historique de l'invention des machines à vapeur, etc. Tome Ier. In-4. VIII-560 p. et atlas de 21 pl. — Paris, imprim. Claye; l'auteur, 45, rue Saint-Sébastien, 1861.

BOUDIN. Des races humaines considérées au point de vue de l'acclimatement et de la mortalité dans les divers climats. In-8. 22 p. — Strasbourg, impr. veuve Berger-Levrault et fils.

CATALAN. Traité élémentaire de géométrie descriptive, 2e partie. Des surfaces courbes; 2e *édition*, revue et augmentée. In-8. 143 p. et atlas de 19 pl. — Paris, impr. Hennuyer; libr. Dunod. 2e partie seule, avec atlas.

Comptes rendus des séances de la Société d'ethnographie américaine et orientale, rédigés par M. le baron de Bourgoing, sénateur. Tome I. In-8. 180 p. et table raisonnée. — Paris, impr. De Soye et Bouchet; Challamel aîné, libr. de la Société d'ethnographie.

Conseil supérieur de l'agriculture, du commerce et de l'industrie. Enquête. Traité de commerce avec l'Angleterre. Industrie métallurgique. Tome Ier. Fonte, fers et aciers. Dérivés de la fonte, du fer et de l'acier. Métaux et ouvrages en métaux autres que le fer. Machines et mécaniques. Ministère de l'agriculture, du commerce et des travaux publics. In-4. XXXI-871 p. — Paris, impr. impériale.

DERODE. Sur la machine pneumatique à double cylindre. In-8. 7 p. — Dunkerque, impr. Kien.

FLOURENS. De la raison, du génie et de la folie. Grand in-18 anglais. 280 p. — Paris, impr. Claye; libr. Garnier frères.

GAVARRET. Télégraphie électrique. Grand in-18. 432 p. avec fig. dans le texte. — Paris, impr. Martinet; libr. V. Masson et fils.

GERVAIS. De la métamorphose des organes et des générations alternantes dans la série animale et dans la série végétale. In-8. 146 p. — Montpellier, imp. Martel aîné.

MULSANT. Cours élémentaire d'histoire naturelle, contenant les applications de cette science aux diverses connaissances utiles, et offrant la réponse à toutes les questions du pro-

gramme universitaire. Géologie. In-8. VII-143 p. avec figures. — Lyon, impr. Dumoulin; Paris, libr. Magnin, Blanchard et compagnie.

Notice sur l'eau gazeuse alcaline et ferrugineuse de Soulzbach, près Colmar (Haut-Rhin). In-8. 16 p. — Colmar, imp. Decker.

SERRES (Marcel de). De la classification minéralogique des métaux, d'après Haüy, et de l'établissement d'un ordre nouveau sous le nom d'allopsides; suivi de: Altitude de divers points depuis Pomérols jusqu'à Bédarieux, etc., par le même. In-4. 22 p. — Montpellier, imp. Boehm et fils.

SOLEIROL. Conséquences hasardées qu'on peut tirer des idées admises en géologie. Note présentée à la Société d'histoire naturelle du département de la Moselle, le 3 mai 1860. In-8. 28 p. — Metz, impr. Verronnais.

Statistique de la France. Résultats du dénombrement de la population en 1856. 2e série. Tome IX. In-4. XLI-183 p. — Strasbourg, impr. veuve Berger-Levrault et fils.

CHASLES. Les trois livres de porismes d'Euclide, rétablis pour la première fois d'après la notice et les lemmes de Pappus, et conformément au sentiment de R. Simson sur la forme des énoncés de ces propositions. In-8. IX-324 p. — Paris, impr. et libr. Mallet-Bachelier.

EBRAY. Note sur le mode de formation des poudingues de Nemours. In-8, 3 p. et 2 dess. — Paris, impr. Martinet.

FAIVRE. La question des générations spontanées. Discours de réception lu à l'Académie impériale des sciences, belles-lettres et arts de Lyon dans sa séance publique du 10 juillet 1860. In-8. 20 p. — Lyon, imp. Rey et Sézanne.

REMY. Voyage au pays des Mormons. Relation, géographie, histoire naturelle, histoire, théologie, mœurs et coutumes. 2 vol. in-8. XCIV-976 p., 10 grav. et carte. Paris, impr. Claye; libr. Dentu.

Situation de l'agriculture. In-8. 55 p. — Paris, impr. Tinterlin et compagnie.

BÉRAUD. De la détermination du volume et de la valeur des arbres en bois d'œuvre et particulièrement en bois de marine. In-8. 16 p. — Paris, impr. Hennuyer.

HEDDEBAULT. Études agricoles. Angleterre. Comice agricole de Lille. In-8. 15 p. — Lille, impr. Chenu.

MALAGUTI. Cours de chimie agricole professé en 1860. In-12. 255 p. — Rennes, impr. Oberthur.

Mémoire sur la propagation des courants électriques; résumé des expériences faites à Nancy par MM. Claude Guillemin et Émile Burnouf, du 23 septembre au 10 octobre 1859. In-4. 16 p. et pl. — Nancy, impr. veuve Raybois.

Périer. Notice sur les eaux minérales de Monte-Catini, suivie d'une note sur les étuves de Monsummano (Toscane). In-8. 19 p. — Paris, impr. Cosse et Dumaine; libr. Rozier.

Recueil des travaux de la Société des anciens élèves des écoles impériales d'arts et métiers pour l'année 1860, publié par le comité de la Société. In-8. 337 p. et 13 pl. — Saint-Nicolas (Meurthe), impr. Trenel; Paris, libr. Lacroix.

Sergent, Traité pratique et complet de tous les mesurages, métrages, jaugeages, de tous les corps, appliqué aux arts, aux métiers, à l'industrie, aux constructions, aux travaux hydrauliques, etc, enfin à la rédaction de projets de toute espèce de travaux du ressort de l'architecture, du génie civil et militaire; terminé par une analyse et une série de prix de 775 articles, avec détails sur la nature, la qualité, la façon et la mise en œuvre des matériaux; 3e *édition*, entièrement refondue et augmentée de 11 pl. 2 vol. In-8. 1166 p. avec atlas de 31 pl. — Saint-Nicolas (Meurthe), impr. Trenel; Paris, libr. Lacroix.

Sainte-Claire Deville (Ch.). Recherches sur les principaux phénomènes de météorologie et de physique terrestre aux Antilles. 2 vol. in-4, avec pl. gravées.

Tome Ier, comprenant les *Observations sur le tremblement de terre éprouvé à la Guadeloupe le 8 février* 1843, et les *Tableaux d'observations météorologiques*. Ce volume est accompagné d'une grande *Carte de la température des eaux à la surface de la mer des Antilles, du golfe du Mexique*, etc.

Le second volume est sous presse; il est consacré aux *Recherches sur la météorologie des Antilles et des contrées voisines*, et il sera accompagné de plusieurs planches de *courbes relatives aux phénomènes barométriques, thermométriques, hygrométriques*, etc.

Basset. Précis de chimie pratique ou Éléments de chimie vulgarisée. 1 vol. in-18. 642 p. avec fig.

Baudement. Compte rendu de l'exposition d'agriculture.

Becquerel. Recherches sur la température des végétaux et de

l'air et sur celle du sol à diverses profondeurs. In-4. 271 p. et 5 pl.

BECQUEREL (Edmond). Recherches sur les piles voltaïques. 1re partie, force électromotrice. 2e partie, résistance à la conductibilité. 3e partie, puissance chimique des piles, évaluation de leur dépense. 96 pages in-8, avec bois dans le texte.

BRESSE. Cours de mécanique appliquée, professé à l'école impériale des ponts et chaussées. 2e partie. Hydraulique. In-8. XIX-483 p. et pl.

BURAT (Amédée). Le matériel des houillères en France et en Belgique. Description des appareils, machines et constructions employés pour exploiter la houille. 1 vol. in-8 de texte, et atlas in-folio de 77 pl.

CALLAUD. Essai sur les piles servant au développement de l'électricité. In-8. 58 p. et pl.

CASTOR. Travaux de navigation et de chemins de fer. — Recueil d'appareils à vapeur employés dans ces constructions. 1 vol. grand in-8. 126 p. et atlas grand in-folio de 9 pl. doubles.

CAVROIS. Agent voyer en chef; manuel des agents voyers, experts, etc., en matière de subventions industrielles. 2e édit. In-8. 148 p.

CLAUDEL. Formules, tables et renseignements pratiques. 5e édit. 1 vol. in-8. XXXII-1173 p. et 3 pl.

CLEGG. Traité pratique de la fabrication et de la distribution du gaz d'éclairage et de chauffage. Ouvrage accompagné de 30 pl. cotées et de nombreuses figures dans le texte; traduit de l'anglais et annoté par Ed. Servier, ingénieur civil. Texte. In-4. 303 p. et 144 fig.

DESAINS. Leçons de physique. T. II. 1re section. In-18 jésus. IX-330 p.

DESMOUSSEAUX DE GIVRÉ. Note sur la coulisse de Stephenson. In-8. 28 p.

DIDION (Is.). Traité de balistique. 2e édit. 1 vol. in-8, avec pl.

DUBREUIL. Manuel d'arboriculture des ingénieurs. Grand in-18, II-228 p. et 254 fig.

DU MONCEL. Notice sur l'appareil d'induction électrique de Ruhmkorff, suivie d'un mémoire sur les courants induits, 4e édit. In-8. X-400 p.

Études des lois des courants électriques au point de vue des applications électriques. In-8. x-201 p.

Expériences faites en 1850-1851 sur la fabrication de canons de 32 livres pour armement des côtes, coulés aux fonderies sud de Boston, de West-Point et de Fort-Pitt. In-8. 50 p. et planches.

FABRE. Mémoire sur les altérations frauduleuses de la garance et de ses dérivés. In-8. 47 p.

FORTHOMME. Traité élémentaire de physique expérimentale et appliquée. Tome II. In-18. 520 p. et 8 pl.

GIFFARD. Notice sur l'injecteur automoteur, breveté, pour l'alimentation des chaudières à vapeur et l'élévation de l'eau. In-4.

GOURNERIE (de la). Traité de géométrie descriptive. 1re partie. In-4. XIX-128 p. et 52 pl.

LABOULAYE (Ch.). Étude historique sur la théorie de la chaleur. In-8.

LAVERGNE (de). Économie rurale de la France depuis 1789. Grand in-8. 494 p.

LEVEZZARI. Astronomie. Système néocartésien ou mécanique céleste expliquée par les effets de la rotation. In-8. 20 p.

LECOUPEUR et fils. Filtres par ascension pour la clarification et l'épuration de l'eau de pluie, des citernes ou réservoirs et des mares. In-8. 15 p. et pl.

LEFOUR. Manuel aide-mémoire du cultivateur. 2e division. Agriculture. 1re partie. *Sol et engrais* (chimie et météorologie). In-18 jésus. 174 p.

LETELLIER. Guide-manuel de photographie sur collodion. In-12. 91 pages.

LUNEL (B.). Aide-mémoire d'histoire naturelle pour l'étude des animaux destinés à l'acclimatation, la naturalisation et la domestication, précédé de considérations générales sur les climats, de l'exposé des diverses classifications d'histoire naturelle, etc. 1 vol. in-18. 180 p. et bois dans le texte.

MORIN. Des planchers en fer. 48 p. avec tableaux.

NICKLÈS, professeur de chimie à la Faculté des sciences de Nancy. Les électro-aimants et l'adhérence magnétique. In-8. VII-305 p. et 5 pl.

ORTOLAN, LOTTE et LACARRIÈRE. Cours de machines à vapeur appliquées à la navigation, à l'usage des mécaniciens de la marine militaire et de la marine marchande. 1re partie. Exa-

men au grade de quartier-maître mécanicien, d'après le programme officiel de 1860. Grand in-8. XII-344 p., avec atlas de 11 pl. et légendes explicatives.

PLATTNER. Traité théorique des procédés métallurgiques de grillage. Ouvrage traduit de l'allemand, par Fétis, ingénieur des mines. 1 vol. in-8, avec pl.

PERSOZ. Des accidents causés par les mastics plombifères.

Portefeuille des conducteurs des ponts et chaussées et des gardes-mines. 2e série, nos 5 et 6.

SOMMAIRE. — Type de remise à wagons. — Frais d'entretien des chaussées en empierrement. — Minerais de fer exploités et employés dans les usines, viaducs et galerie de Saint-Vallier (chemin de fer de Lyon à Avignon).

Le prix de l'abonnement est de 22 francs, pour la série qui se compose de dix numéros.

ROSE (Henry). Traité complet de chimie analytique; édition française originale. Analyse quantitative. 1er fascicule. In-8. 532 p.

ROTH. Des pyroléines ou huiles inoxydables pour le graissage des machines de filature. In-8. 96 p.

SCHACHT. Les arbres, études sur leur structure et leur végétation. Traduit de l'allemand par le docteur Édouard Morren, 1 vol. grand in-8, avec pl. et grav. sur bois.

TESTELIN. De l'électricité et du magnétisme relativement à la théorie de la pile de Volta, des aimants et des moteurs électriques. Grand in-8.

VIALA. Étude sur le rôle de l'azote dans la confection des engrais organiques et dans l'alimentation souterraine des plantes. In-8. 112 p.

STEPHENS (Henri). Application des sciences naturelles à l'agriculture. Traduit de l'anglais avec l'autorisation de l'auteur, par J.-L. Mélard. In-12 de 304 p.— Bruxelles, Émile Flatau.

DES ROTOURS. Compte rendu d'un manuel agricole intitulé : Petit-Pierre, de M. Calemard de la Fayette. In-8, 4 p. — Lille, imp. Leleux.

SAINTE-PREUVE. Notions de physique et de chimie applicables aux usages de la vie. 7e *édition*, conforme au programme officiel pour l'enseignement des écoles normales primaires, et contenant de nombreuses applications récemment faites des sciences physiques. Grand in-18, VIII-419 p. — Paris, lib. L. Hachette et Cie.

TARDIEU. Rapport général à S. E. M. le ministre de l'agriculture, du commerce et des travaux publics, sur le service médical des eaux minérales de la France pendant l'année 1858, fait au nom de la commission des eaux minérales et lu à l'Académie impériale de médecine dans la séance du 23 octobre 1860. In-4, 35 p. — Paris, imp. Martinet; lib. J. B. Baillière fils.

BARANIE. Travaux et matériel de chemins de fer. Atlas de dessin d'exécution, accompagné de notes justificatives, devis, estimation, cahier des charges, etc. Sous presse : la partie relative au matériel roulant. — Paris, Dunod, libr.

BROISE et CHIEFFRY. Album encyclopédique des chemins de fer. Une livraison (comprenant matériel fixe, matériel roulant, travaux d'art, bâtiments, etc.) paraît tous les mois depuis le 1er janvier 1861. Chaque livraison se compose de 12 pl. en autographie. 1/2 grand aigle. — Paris, Dunod, libr.

Prix de l'abonnement. . . . . 48 fr. par an.
Prix de la livraison. . . . . 4 fr.

SGANZIN et REIBELL. Programme ou résumé d'un cours de construction, 5e édition entièrement refondue et considérablement augmentée, par M. Lalanne. Sous presse : la 1re partie : Gares et stations de chemins de fer. — Paris, Dunod, libr.

BAZAINE et CHAPERON. Chemins de fer d'Italie, leur description complète. 1 vol. in-4 de texte, accompagné d'un bel atlas de 60 à 70 pl. — Paris, Dunod, libr.

TERREIL (A.). Atlas de chimie analytique minérale. 17 tableaux en couleur. — Paris, Dunod, libr.

CLOEZ. Cours de manipulations et de préparations chimiques. 1 vol. in-8 avec figures. — Paris, Dunod, libr.

DORÉ. Chimie industrielle. In-8. — Paris, Dunod, libr.

DEBRAY. Chimie élémentaire. 1 vol. in-8 avec de nombreuses figures dans le texte. — Paris, Dunod, libr.

Paléontologie française ou description des animaux non vertébrés fossiles de la France. Continuation de la publication interrompue en 1857 par la mort de M. A. d'Orbigny. Cette suite est placée sous la direction d'un comité composé de MM. d'Archiac, Dauglas, de Verneuil, Héfort, Cotteau, Ebray, de Terres de Fromentel, Kœchlin, Schlumberger, Pictot, Triger.—Terrain crétacé. 1re livraison, texte, feuilles 1 à 4. Atlas, planches 1007 à 1018. — Paris, Victor Masson, libr.

LORY (Charles). Description géologique du Dauphiné (Isère, Drôme, Hautes-Alpes) pour servir à l'explication de la carte géologique de cette province. 2ᵉ partie. — Savy, Paris et Grenoble.

LAMÉ FLEURY. Code annoté des chemins de fer en exploitation ou Recueil méthodique et chronologique des lois, décrets, ordonnances, arrêtés, etc., concernant l'exploitation technique et commerciale des chemins de fer; annoté au moyen de décisions des autorités administrative et judiciaire. 1 fort volume in-8. 1861.

LAMÉ FLEURY. De la législation minérale sous l'ancienne monarchie ou Recueil méthodique et chronologique des lettres patentes, édits, ordonnances, déclarations, arrêts du conseil d'État du roi, du parlement et de la cour des monnaies de Paris, etc., concernant la législation minérale, publié sur les manuscrits originaux, annoté et mis en ordre. 1 vol. in-8.

LAMÉ FLEURY. Texte annoté de la loi du 21 avril 1810, concernant les mines, les minières, les tourbières, les carrières et les usines minéralurgiques. 1 vol. in-8.

ALLEMAGNE.

Ernst Otto (G.). *Grundzüge einer philosophischen...* Principes d'une cosmologie philomathique. In-8 avec 3 pl. lithogr. — Freiberg (Saxe), Engelhardt.

Bruno Kerl. *Handbuch der metallurgischen...* Manuel de métallurgie, 2e édition revue et considérablement augmentée. Elle formera 4 vol. qui se suivront à de courts intervalles. En vente, la 1re partie du Ier, in-8, avec 3 grandes planches lithographiées. — Freiberg, Engelhardt.

Prediger (C.). *Karte vom Harzgebirge...* Carte des montagnes du Hartz. — Clausthal.

Schlagintweit. *Reis in Ost-Indien...* Voyage aux Indes orientales.

Bothe (F). *Physikal...* Répertoire de physique donnant les principes élémentaires de cette science. In-8.— Brunswick.

Bremicker (C.). *Logarithmisch-Trigonometrische...* Table des logarithmes à 6 décimales. In-8. — Berlin.

Foetterle (F.). *Geolog. atlas...* Atlas géologique de l'empire d'Autriche. 4 cartes. — Gotha.

Fortschritte der Physik... Progrès de la physique en 1858; par O. Hagen. In-8. — Berlin.

Kluge (K.-E.). *Handbuch der Edelsteinkunde...* Manuel des pierres précieuses. In-8, avec 15 pl. — Leipzig.

Ludwig (R.). *Buch der Geologie...* Géologie. Histoire naturelle de la terre. In-8, avec pl. et illustr. — Leipzig.

Moller (H.). *Ueber die Beziehungen...* Sur les rapports entre les eaux minérales et les filons métallifères en Saxe et en Bohême. — In-8. — Freiberg.

Berg (C.-H.-E.). *Anleitung zum Verkolhen des Holzes...* Recherches sur la carbonisation du bois. In-8, avec planches et illustrations.

Cotta (B.). *Die Lehre von den Erzlagerstätten...* Étude des gîtes métallifères. 2e édition. T. II. In-8, avec illustrations. — Engelhardt, à Freiberg.

Jahresbericht über die Fortschritte... Compte rendu sur les progrès de la chimie agricole, publié par M. R. Hoffmann. 2e année, 1859-60. In-8. — Berlin.

Redtenbacher (F.). *Theorie und Bau der Turbinen...* Théorie et construction des turbines. In-4, avec 13 pl. et atlas in-fol. — Mannheim.

Reichardt (E.). *Das Steinsalzbergwerk...* L'exploitation du sel gemme à Stafsfurth, près de Magdebourg. In-4, avec 2 pl. — Iéna.

Erdmann (O.-L.). *Ueber das Studium der Chemie...* Sur l'étude de la chimie. In-8. — Leipzick.

Kenngott (A.). *Uebersicht der Resultate...* Résumé des recherches minéralogiques en 1859. Grand in-8. — Leipzig.

Schiel (J.). *Einleitung in das Studium...* Préliminaire pour l'étude de la chimie organique. Grand in-8.

Schmid (E.-E.). *Lehrbuch der Meteorologie...* Manuel de météorologie. Grand in-8. — Leipzig.

ANGLETERRE.

FORBES (J.-D.). *Reply to Tyndalls*... Réplique aux remarques de M. Tyndall sur les glaciers des Alpes. In-8. — Édimbourg.

BEWICK (J.). *Treatise of the Ironstone*... Traité sur le minerai de fer du district de Cheveland, illustré par une carte géologique et par des coupes coloriées. Grand in-8. — Londres.

DAMON (R). *Handbook of the Geology*... Manuel de la géologie de Weymouth et de l'île de Portland. In-12, avec illustrations. — Londres.

DARWIN (C.). *Journal of Researches*... Journal des recherches sur l'histoire naturelle et la géologie. In-8. — Londres.

DARWIN (C.). *On the Origin*... Sur l'origine des espèces. In-8. — Londres.

DAVISON (S.). *The Discovery and Geognosy*... Découverte et géognosie des dépôts aurifères en Australie et comparaison de ces gisements avec ceux de Californie, de Russie, de l'Inde, du Brésil. In-8, avec carte. — Londres.

FORBES. *Iceland*... L'Islande, ses volcans, ses glaciers. In-12, avec illustr. — Londres.

Genesis of the Earth... Génèse de la terre et de l'homme ou histoire de la création et de l'antiquité des races du genre humain. In-8. — Londres.

HUMBLE (W.). *Dictionary*... Dictionnaire de géologie et de minéralogie. In-8. — Londres.

PHILIPPS (J.). *Life of the Earth*... La vie sur la terre, son origine et sa succession. In-12. — Londres.

RAMSAY (A.-C.). *The old Glaciers*... Les anciens glaciers de la Suisse et du nord du pays de Galles. In-12, avec carte et illustr. — Londres.

Vestiges of the Natural History... Vestiges de l'histoire naturelle de la création. In-12. — Londres.

DAY. *Chemistry in its Relations*... La chimie dans ses rapports avec la physiologie et la médecine, avec cinq planches et de nombreuses illustrations gravées. In-8.

POOR. *History of the Railroads and Canals*... Histoire des

chemins de fer et des canaux des États-Unis, faisant connaître leurs progrès, leurs frais d'établissement, leurs revenus, leurs dépenses, ainsi que leur état actuel. In-8.

SAY. *The complete Writings*... Œuvres complètes de Thomas Say, sur la conchyologie des États-Unis, éditées par W.-J. Binney, membre de l'Académie des sciences naturelles de Philadelphie. In-12.

BROWN (James). *The Forester*... Le forestier : Traité pratique sur la plantation, les soins et l'aménagement des arbres forestiers. In-8.

GODET (Théodore-L.). *Bermuda*... Les Bermudes : leur histoire, leur géologie, leur climat, leurs produits, leur agriculture, leur commerce et leur gouvernement depuis les anciens temps jusqu'à nos jours. In-8.

AGASSIZ. *Contributions to the Natural History*... Recherches sur l'histoire naturelle des États-Unis. 26 planches.

GEO. J. BRUSH. *Ninth supplement to* DANA'S *Mineralogy*... Neuvième supplément à la minéralogie (de l'AMERICAN JOURNAL OF SCIENCE AND ARTS, t. XXXI, mai 1861).

ITALIE.

Annali del Reale... Annales de l'Observatoire royal météorologique au Vésuve; publiées par L. Palmieri. 1re année, 1859. Grand in-8, avec illustr. — Naples.

Costa. *Paleontologia del Regno di Napoli...* Paléontologie du royaume de Naples. In-4. — Naples.

Curioni (G.). *Sulla industria del ferro...* Sur l'industrie du fer en Lombardie. — G. Bernardoni, à Milan.

Gastaldi (Bartolomeo). *Cenni su alcune armi di pietra e di bronzo, etc...* Sur quelques armes de pierre et de bronze trouvées dans les duchés de Modène et de Parme, ainsi que dans les tourbières de la Lombardie et du Piémont. (Extrait de la Société italienne des sciences naturelles de Milan, Février 1861.)

Gastaldi (Bartolomeo). *Su alcune ossa di mammiferi fossili, etc...* Sur quelques ossements des mammifères fossiles du Piémont. (Lettre de B. Gastaldi au professeur Cornalia.) Extrait de la Société des sciences naturelles de Milan.

Gastaldi (Bartolomeo). *Fragmenti di geologia di Piemonte...* Fragments de géologie du Piémont. Sur les éléments du conglomérat miocène du Piémont. — Turin, imp. royale, 1861.

Schimper (W.-P.). Icones morphologicæ atque organographicæ introduct. synopsi muscorum Europæorum. Illustr. In-4, avec 11 pl. — Stuttgart.

ANNALES
DES MINES.

DE L'INFLUENCE DE LA SUSPENSION A LAMES
SUR LE MOUVEMENT DU PENDULE CONIQUE.

Par M. H. RÉSAL, ingénieur des mines.

---

1. Le mode de suspension des balanciers à oscillations coniques des pendules de M. Redier consiste en deux systèmes rectangulaires et verticaux, identiques aux appareils de suspension à lames employés pour les balanciers oscillatoires, c'est-à-dire qu'ils sont formés chacun de deux lames flexibles en acier de même longueur, *maintenues* parallèlement et invariablement dans leur plan par leurs extrémités.

La monture supérieure de l'un des systèmes est fixe; la monture inférieure supporte la monture supérieure du second, qui est disposée de telle sorte que les extrémités supérieures comme les extrémités inférieures des quatre lames d'égale longueur sont situées dans un même plan horizontal lorsque le pendule est en repos. La monture inférieure du second système fait corps avec la tige en bois du balancier dont la partie essentielle est une sphère pesante qui termine cette tige.

Dans un mémoire présenté, il y quelques années, à l'Académie des sciences, et inséré depuis aux *Annales*

de la Société d'émulation du Doubs, j'ai établi que la monture simple à courtes lames n'altère pas l'isochronisme des petites oscillations du balancier ordinaire, quoique leur durée fût modifiée en raison de la plus ou moins grande longueur des lames.

Je me propose maintenant de résoudre la même question relativement à l'isochronisme des révolutions du balancier conique de M Redier. Comme nous ne devons considérer que de petits écarts du pendule par rapport à la verticale, et que les flexions des lames sont par conséquent très-petites, nous pourrons, avec une approximation suffisante, employer les hypothèses adoptées sur l'élasticité des corps dans la *Théorie de la résistance des matériaux*, négliger les variations très-petites éprouvées par la dilatation des lames dans le sens de leur longueur, et cela avec d'autant plus de raison qu'elles sont dues à des forces du même ordre de grandeur que l'angle d'écartement du balancier, par rapport à la verticale.

Si on laisse de côté les impossibilités physiques du mouvement et si l'on suppose que ces lames, dont nous négligerons le poids, la masse et l'inertie, sont immatérielles, en leur conservant les propriétés de l'élasticité, nous pourrons dire que la suspension produit le même effet que si elle était composée de deux lames identiques d'une largeur double de chacune d'entre elles, mais de même longueur et de même épaisseur, disposées rectangulairement, l'une dans l'axe de figure de l'autre. L'une de ces lames est encastrée invariablement à sa partie supérieure; l'encastrement de l'autre se trouve sur la tangente à l'extrémité de la précédente, à une distance du point de contact égale à la longueur des lames. L'axe de figure du balancier sera ainsi supposé tangent à l'extrémité de la seconde lame. Nous

supposerons de plus, pour plus de simplicité, que sur la figure, les lames sont réduites à leurs axes de symétrie.

2. Soient (Pl. I, *fig.* 1) :

o le point fixe d'encastrement de la première lame.

ox la verticale.

yoy' l'horizontale menée par le point o dans le plan d'oscillation de la même lame.

oz la perpendiculaire en o au plan xoy déterminant avec ox le plan d'oscillation de la seconde lame.

λ la longueur des lames.

oa la forme que prend, à un instant quelconque, la lame encastrée en o.

α l'angle formé par la tangente at en a avec o.

ot la perpendiculaire abaissé du point o sur at; on pourra supposer $oa = ot = \lambda$ en négligeant les termes de l'ordre α^2. Le point t devra alors être considéré comme étant l'extrémité supérieure de la seconde lame, qui affecte une forme tm tangente en t à at, dans un plan mené suivant cette dernière direction, perpendiculaire au plan yox.

β l'angle formé par la tangente en m ou par la direction mG de la tige du pendule avec at.

O la projection de a sur ox.

$\eta = aO$, $\zeta = ma$ les coordonnées du point m, respectivement parallèles à oy, oz.

l la distance du centre de gravité G du pendule au point m.

M la masse du pendule.

A son moment d'inertie par rapport à l'un quelconque des axes principaux perpendiculaires en m à mG.

E le coefficient d'élasticité des lames.

I le moment d'inertie de leur section par rapport à la parallèle au long côté menée par le centre de gravité.

μ la masse du système rigide formé par la monture

inférieure de la lame encastrée en o et la monture supérieure de la seconde lame.

g le centre de gravité de ce système, que l'on peut supposer au milieu de at.

φ l'angle formé par la tige mG du pendule avec la verticale.

θ l'angle compris sous le plan verticale passant par oG et le plan zox.

g l'accélération de la gravité.

D'après le mode d'approximation adopté, nous pouvons regarder les arcs α, φ, β comme étant égaux à leurs sinus ou à leurs tangentes, et leurs cosinus comme égaux à l'unité.

L'ordonnée $th = ot \sin \alpha$ du point t' paralèlle à ox est du second ordre et négligeable, de sorte que l'on pourrait même, sans inconvénient, supposer que ce point coïncide avec l'intersection t' de la direction de at avec oy'. Quant à l'ordonnée $-oh$ de t parallèle à oy, elle est donnée par

$$-oh = -(ot \sin \alpha - ao) = \eta - \lambda\alpha,$$

et celle oj de g par

$$oj = \frac{\eta + \eta - \lambda\alpha}{2} = \eta - \frac{\lambda\alpha}{2} = \chi. \qquad (1)$$

3. L'angle trièdre formé par la droite mG, le prolongement mA de am, la verticale mp de m, donne, en remarquant que l'angle dièdre mA est mesuré par α :

$$\cos \varphi = \cos \beta \cos \alpha,$$
$$\sin \beta = \sin \varphi \cos \theta = \varphi \cos \theta,$$

d'où

$$\varphi^2 = \alpha^2 + \beta^2.$$

On tire de là

$$\beta = \varphi \cos \theta,$$
$$(2) \qquad \alpha = \varphi \sin \theta.$$

4. Nous supposerons dans ce qui suit que les lames

sont très-courtes par rapport à la longueur du balancier, comme cela a réellement lieu, de manière à pouvoir négliger les termes de l'ordre $\varphi \frac{\lambda}{l}, \frac{\lambda^2}{l^2}$ comme on néglige α^2 par rapport à l'unité.

Soient :

M_x, M_y, M_z les composantes parallèles aux axes *ox*, *oy*, *oz* des moments par rapport au point *m* du poids et des forces d'inertie du pendule. Ces composantes, conformément à la convention admise, seront considérées comme positives ou négatives, selon qu'elles tendront à faire tourner autour de leurs axes respectifs de la gauche vers la droite ou inversement.

X, Y, Z les composantes des mêmes forces parallèles à ces axes. Considérons d'abord la lame *oa* et soient x, y, les coordonnées de l'un quelconque de ses points. Le moment du poids et de l'inertie du pendule, par rapport à ce point, tendant à produire la flexion, est

$$M_z + Y(\lambda - x) - X(\eta - y).$$

Les forces d'inertie étant de l'ordre φ par rapport au poids du pendule, nous pourrons, dans cette expression, supposer $X = Mg$. La masse μ ne donnera de la même manière que le moment

$$-\mu g(\chi - y);$$

car sa force d'inertie ne se compose que de termes de second ordre en α et λ, et ne donnerait que des moments négligeables. On a donc

$$EI \frac{d^2y}{dx^2} = M_z + (\lambda - x) Y - Mg(\eta - y) - \mu g(\chi - y).$$

Si l'on néglige d'abord dans cette équation les termes de l'ordre λ, on trouve, en intégrant et remarquant que $y = o$, $\frac{dy}{dx} = o$ pour $x = o$:

$$EI \frac{dy}{dx} = M_z \,.\, x,$$

$$EIy = M_z \frac{x^2}{2};$$

et pour $x = \lambda$:

$$EI\eta = \frac{\lambda^2}{2} M_z,$$

$$EI\alpha = \lambda M_z.$$

d'où, d'après les relations (2)

$$\eta = \alpha \frac{\lambda}{2} = \frac{\lambda}{2} \varphi \sin \theta,$$

$$y = \alpha \,.\, \frac{x^2}{2\lambda} = \frac{x^2}{2\lambda} \sin \theta,$$

et enfin

$$\chi = 0.$$

En portant les valeurs dans l'équation précédente, on ne fait que se conformer au mode d'approximation adopté, et il vient :

$$EI \frac{d^2y}{dx^2} = M_z + Y(\lambda - x) + \frac{\varphi \sin \theta g}{2} \left[\frac{x^2}{\lambda} (M + \mu) - M\lambda \right].$$

L'intégration donne :

$$EI \frac{dy}{dx} = M_z x + Y\left(\lambda x - \frac{x^2}{2}\right) + \frac{g\varphi \sin \theta}{2} \left[\frac{x^3}{3\lambda}(M+\mu) - M\lambda x \right],$$

$$EIy = M_z \frac{x^2}{2} + Y\left(\frac{\lambda x^2}{2} - \frac{x^3}{6}\right) + \frac{g\varphi \sin \theta}{2} \left[\frac{x^4}{12\lambda}(M+\mu) - \frac{M\lambda x^2}{2} \right],$$

$$\frac{EI\alpha}{\lambda} = \frac{EI\varphi \sin \theta}{\lambda} = M_z + \frac{\lambda}{2} Y + \frac{g\lambda\varphi \sin \theta}{6} [\mu - 2M]$$

ou

$$(3) \begin{cases} \varphi \sin \theta \left[\dfrac{EI}{\lambda} + \dfrac{Mg\lambda}{3} - \dfrac{\mu g \lambda}{6} \right] = M_z + \dfrac{\lambda}{2} Y, \\ EI\eta = M_z \dfrac{\lambda^2}{2} + \dfrac{\lambda^3 Y}{3} + \dfrac{g\varphi \sin \theta \lambda^3}{24} [\mu - 5M]. \end{cases}$$

Occupons-nous maintenant de la seconde lame ; si z est l'ordonnée parallèle à oz de l'un de ses points, x' la distance de sa projection sur at au point t, on a, de même que tout à l'heure :

$$EI\frac{d^2z}{dx'^2} = -Mg\cos\alpha + M_x'\sin\alpha + Z(\lambda - x') - Mg(\zeta - z).$$

Mais M_x' résulte uniquement de la rotation $\frac{d\theta}{dt}$ autour de ox, donnant lieu à des vitesses de l'ordre $\varphi\frac{d\theta}{dt}$, dont les moments des quantités de mouvement sont de l'ordre $\varphi^2\frac{d\theta}{dt}$. D'où il suit que $M_x\sin\alpha$ est négligeable.

Si l'on fait abstraction des termes en λ, on trouve :

$$EI\zeta = -\frac{\lambda^2}{2}M_y,$$

$$EI\beta = -\lambda M_y = EI\varphi\cos\theta,$$

d'où

$$\zeta = \frac{\lambda}{2}\varphi\cos\theta,$$

$$z = \frac{x^2}{2\lambda}\varphi\cos\theta.$$

En portant ces valeurs dans l'équation ci-dessus, on trouve :

$$EI\frac{d^2z}{dx'^2} = -M_y + Z(\lambda - x) - \frac{Mg\varphi\cos\theta}{2}\left[\lambda - \frac{x^2}{\lambda}\right],$$

d'où l'on déduit facilement :

$$(4)\quad \begin{cases} \varphi\cos\theta\left[\frac{EI}{\lambda} + \frac{Mg\lambda}{3}\right] = -M_y + \frac{z\lambda}{2}, \\ EI\zeta = -Mg\frac{\lambda^2}{2} + \frac{Z\lambda^3}{3} - \frac{5Mg\varphi\cos\theta\lambda^2}{24}. \end{cases}$$

Des équations (3) et (4) on tire :

$$\varphi\left[\frac{EI}{\lambda}+\frac{Mg\lambda}{3}-\frac{\mu\lambda}{6}\right]=\left[M_z\sin\theta-M_y\cos\theta\right]+$$
$$+\frac{\lambda^2}{2}\left[Y\sin\theta+Z\cos\theta\right]-\frac{\mu}{6}\lambda\varphi\sin\theta\cos\theta=\left[M_z\cos\theta+\right.$$
$$\left.+M_y\sin\theta\right]+\frac{\lambda}{2}\left[Y\cos\theta-Z\cos\theta\right].$$

Cela posé, soient mX, mY, mZ (*fig.* 2) les parallèles à ox, oy, oz menées par le point m; mZ' la trace du plan vertical GmX qui renferme la tige du pendule sur le plan horizontal du point m; mY' la perpendiculaire en m au plan GmX faisant avec mZ l'angle $-(90°-\varphi)$; mZ'' la perpendiculaire en m à mG dans le plan mGX ; M_y', M_z' les moments dus à l'inertie du pendule par rapport à mY', mZ'; Y', Z' les composantes de ces forces parallèles aux mêmes directions. Le moment du poids du pendule étant $Mlg\varphi$ autour de mY', il est clair que les formules ci-dessus deviennent

$$(5)\qquad \varphi\left[\frac{EI}{\lambda}+Mgl+\frac{Mg\lambda}{3}-\frac{\mu\lambda g}{6}\right]=M_y'+\frac{2}{\lambda}Z'$$
$$-\frac{\mu g\lambda\varphi}{6}\sin\theta\cos\theta=M_z'-\frac{\lambda}{2}Y',$$

et nous donnent ainsi les équations qui nous permettront de déterminer les éléments de la question.

5. Supposons en premier lieu que λ soit assez petit pour que l'on puisse négliger les termes en λ de ces équations.

Les forces d'inertie du pendule se composent de celles qui résultent de sa rotation autour du point m supposé fixe, et de celle de son centre de gravité, où toute la masse serait concentrée, correspondant à l'accélération de ce point. Or cette dernière force donne-

rait dans M_y' et M_z' des termes de l'ordre λ, et nous devons aussi en négliger la considération.

Il suit de là que les équations du mouvement

$$M_y' = l\left[Mg + \frac{EI}{\lambda l}\right]\varphi,$$
$$M_z' = 0,$$

sont les mêmes que si le pendule tournait librement autour du point m considéré comme fixe, en supposant que son poids se trouve augmenté de $\frac{EI}{\lambda l}$; la suspension à lames n'altère donc pas l'isochronisme des révolutions, et l'on a pour la durée de chacune d'elles :

$$(6) \qquad T = 2\pi\sqrt{\frac{A}{Mlg + \frac{EI}{\lambda}}}.$$

Si donc on raccourcit de plus en plus les lames, la durée des révolutions va en diminuant, absolument comme si l'on diminuait dans un certain rapport la *longueur* du pendule.

Dans le cas actuel, les formules (3) et (4) deviennent par l'élimination de M_z, M_y :

$$(7) \qquad \eta = \frac{\lambda}{2}\varphi\sin\theta,$$
$$\zeta = \frac{\lambda}{2}\varphi\cos\theta;$$

d'où l'on déduit facilement que la *direction de la tige du pendule rencontre la verticale du point fixe d'encastrement* O *en un point fixe* I (*fig.* 1), *situé à la distance* $\frac{\lambda}{2}$ *de ce dernier, et qui est par conséquent le centre de gravité du système des quatre lames.*

6. Revenons aux formules (5) en y négligeant seulement des termes renfermant λ à une puissance supérieure à la première.

Comme nous l'avons vu plus haut, les moments M_x', M_y' sont dus : 1° au mouvement de rotation du pendule autour du point m supposé fixe; 2° à l'accélération de m supposée appliquée ainsi que toute la masse en son centre de gravité.

Pour calculer les termes relatifs aux premières forces, désignons par p et q les composantes de la rotation instantanée suivant mY', mZ''. La rotation q se décompose en deux autres, l'une suivant mG, l'autre $\frac{q}{\sin\varphi}$ suivant le prolongement de mX qui représente la rotation du plan GmX autour de la verticale mX. On a donc :

$$(8) \qquad p = \frac{d\varphi}{dt}$$

$$q = \varphi \frac{d\theta}{dt}.$$

Le moment de la force d'inertie par rapport au point m est la vitesse absolue, prise en sens contraire de la droite mS, qui représente le moment de la quantité de mouvement par rapport à m.

De ce que la composante de la rotation est constamment nulle autour de mG, d'après le mouvement obligé du pendule, on déduit d'une propriété connue des solides de révolution, que le moment de la quantité de mouvement estimé suivant cette droite est nul ; mS est donc situé dans le plan $Z''mY'$, et a pour projections, Ap et Aq sur mY', mZ''. On voit ainsi que les composantes de la vitesse relative de S suivant mY'

et mZ' sont $\frac{dp}{dt}$ et $\frac{q\cos\varphi}{dt}$; que les composantes de la vitesse d'entraînement sont :

$$-\text{A}q\cos\varphi\,.\,\frac{d\theta}{dt}\;\ldots\ldots\;\text{suivant } m\text{Y}'$$

$$\text{A}p\,.\,\frac{d\theta}{dt}\;\ldots\ldots\ldots\ldots\;mZ'.$$

On a donc en resumé pour les moments :

$$(9)\left\{\begin{array}{l}-\text{A}\left[\frac{dp}{dt}-q\cos\varphi\right]=-\text{A}\left[\frac{dp}{dt}-\frac{q^2}{\varphi}\right]\ldots\;\text{suivant } m\text{Y}'\\ -\text{A}\left[\frac{dq\cos\varphi}{dt}+p\frac{d\theta}{dt}\right]=-\text{A}\left[\frac{dq\cos\varphi}{dt}+\frac{pq}{\varphi}\right]=-\\ \quad -\frac{\text{A}}{\varphi}\frac{d\varphi q}{dt}\;\ldots\ldots\;\text{suivant } mZ'.\end{array}\right.$$

Considérons maintenant la force d'inertie due à l'accélération du point m et à la masse M supposée concentrée au centre de gravité G ; le moment résultant étant de l'ordre λ, où peut pour le calculer admettre que le pendule tourne effectivement autour du *point fixe* I. Dans cette hypothèse, les courbes décrites par m et G étant semblables, l'accélération de m sera égale à celle de G, multiplié par $\frac{\lambda}{2l}$. Or les moments relatifs au centre de gravité, ou toute la masse serait concentrée, s'obtiendraient en remplaçant dans les formules (9) A par ml^2 ; il vient donc pour les moments cherchés :

$$(10)\quad -\frac{\text{M}l\lambda}{2}\left[\frac{dp}{dt}-\frac{q^2}{\varphi}\right]\;\ldots\ldots\;\text{suivant } m\text{Y}'$$

$$-\frac{\text{M}l\lambda}{2\varphi}\frac{dq\varphi}{dt}\;\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\;mZ'.$$

On peut d'ailleurs négliger l'accélération verticale

du point m qui ne donnerait qu'un terme du second ordre.

Si l'on continue à négliger λ^2, nous devrons considérer Z' et Y' comme les composantes de l'inertie relatives au mouvement de rotation du corps autour du point m; or lZ', $-lY'$ sont les moments de la force d'inertie du centre de gravité où toute la masse serait concentrée par rapport aux axes mY', mZ'; d'où il suit que $\lambda\frac{Z'}{2}$, $\lambda\frac{Y'}{2}$ sont représentés respectivement par les expressions (10) auxquelles elles s'ajoutent; les formules (5) donnent donc par conséquent :

$$(11)\qquad \left[\frac{dp}{dt}-\frac{q^2}{\varphi}\right](A+Ml\lambda)=-l\left[Mg\left(l+\frac{1}{3}\frac{\lambda}{l}\right)-\frac{\mu g}{6}\cdot\frac{\lambda}{l}+\frac{EI}{l\lambda}\right]$$

$$(A+Ml\lambda)\cdot\frac{dq\varphi}{dt}=-\frac{\mu g\lambda}{12}\varphi^2\sin 2\theta.$$

Si μ est assez petit pour que $\frac{\mu g\lambda}{12A}$ soit du même ordre de grandeur que les quantités que nous avons négligées, on pourra faire abstraction du second membre de la seconde équation ; mais alors les équations (11) représentent après cette simplification la loi du mouvement d'un pendule simple dont la longueur serait

$$\frac{M\left(l+\frac{\lambda}{3}\right)-\frac{\mu\lambda}{6}+\frac{EI}{g\lambda}}{A+Ml\lambda}=L.$$

Dès lors les révolutions seront isochrones, et la durée d'une révolution complète sera donnée par la formule

$$(12)\qquad T=2\pi\sqrt{\frac{A+Ml\lambda}{Mg\left(l+\frac{\lambda}{3}\right)-\frac{\mu g\lambda}{6}+\frac{EI}{\lambda}}}.$$

7. Examinons maintenant quelle peut être l'influence de la masse μ sur le mouvement. Posons pour simplifier $m^2 = \alpha \frac{g}{L}$, $\lambda = \frac{1}{12} \frac{\mu\lambda g}{A + M\Omega}$, α étant une quantité supposée assez petite pour que l'on puisse en négliger le quarré. Les équations du mouvement deviennent :

$$\frac{dp}{dt} - \frac{q^2}{\varphi} = -m^2\varphi$$
$$\frac{dq\varphi}{dt} = \alpha\varphi^2 \sin 2\theta.$$

Si l'on pose comme dans la théorie de la libration de la lune

$$\varphi \sin\theta = u, \quad \varphi \cos\theta = v,$$

on reconnaît facilement que les équations peuvent être remplacées par les suivantes

$$\frac{d^2u}{dt^2} = -m^2u + \alpha\varphi \sin 2\theta \cos\theta$$
$$\frac{d^2v}{dt^2} = -m^2v - \alpha\varphi \sin 2\theta \sin\theta.$$

Si l'on néglige d'abord α, on a, en supposant $\theta = 0$, $\frac{d\varphi}{dt} = 0$, $\varphi = \varphi_0$ pour $t = 0$, les formules connues,

$$u = \varphi \sin\theta = \varphi_1 \sin mt$$
$$v = \varphi \cos\theta = \varphi_0 \cos mt,$$

φ_1 étant une constante qui représente le plus petit écart si φ_0 est le plus grand ou inversement. Les équations deviennent alors, en raison du mode d'approximation adopté :

$$(13) \quad \frac{d^2u}{dt^2} = -m^2u + \frac{2\alpha\varphi_1\varphi_0^2 \sin mt \cos^2 mt}{\varphi_1^2 \sin^2 mt + \varphi_0^2 \cos^2 mt}$$
$$\frac{d^2v}{dt^2} = -m^2v - \frac{2\alpha\varphi_0\varphi_1^2 \sin^2 mt \cos mt}{\varphi_1^2 \sin^2 mt + \varphi_0^2 \cos^2 mt}.$$

Pour intégrer la première équation, nous poserons

$$u = y \cos m,$$

y étant une fonction inconnue et qu'il s'agit de déterminer. On trouve en substituant :

$$\frac{d^2y}{dt^2} - 2m\frac{dy}{dt}\operatorname{tang} mt = \frac{2\alpha\varphi_1\varphi_0{}^2 \operatorname{tang} mt}{\varphi_1{}^2\operatorname{tang}^2 mt + \varphi_0{}^2},$$

équation linéaire en $\frac{dy}{dt}$, dont l'intégrale est

$$(14)\quad \frac{dy}{dt} = \frac{1}{\cos^2 mt}\left[C + \frac{\alpha\varphi_0{}^2\varphi_1}{m}\int\frac{d(\operatorname{tang}^2 mt)}{(\varphi_1{}^2\operatorname{tang}^2 mt + \varphi_0{}^2)(1+\operatorname{tang}^2 mt)^2}\right],$$

C étant une constante arbitraire. En décomposant sous le signe $\int$ en fractions rationelles, on trouve ;

$$\frac{dy}{dt} = \frac{1}{\cos^2 mt}\left[C - \frac{\alpha\varphi_0{}^2\varphi_1}{m(\varphi_1{}^2 - \varphi_0{}^2)}\left(\cos^2 mt + \right.\right.$$
$$\left.\left. + \left(\frac{\varphi_1{}^2}{\varphi_1{}^2 - \varphi_0{}^2}\log\left(\frac{\varphi_1{}^2\sin^2 mt + \varphi_0{}^2\cos^2 mt}{\varphi_1{}^2}\right)\right]\right..$$

En intégrant de nouveau et désignant par C′ une seconde constante arbitraire, il vient

$$y = C' + \frac{C}{m}\operatorname{tang} mt - \frac{\alpha\varphi_0{}^2\varphi_1}{m(\varphi_1{}^2 - \varphi_0{}^2)}\left[t + \frac{\varphi_1{}^2}{m(\varphi_1{}^2 - \varphi_0{}^2)}\times\right.$$
$$\left.\times\int\log\left(\frac{\varphi_1{}^2\sin^2 mt + \varphi_0{}^2\cos^2 mt}{\varphi_1{}^2}\right)\cdot\frac{dmt}{\cos^2 mt}\right..$$

L'intégrale comprise dans cette équation se déterminera facilement en posant $z = \operatorname{tang} mt$, et en appliquant la méthode d'intégration par parties ; on a ainsi :

$$(15)\quad y = C' + \frac{C}{m}\operatorname{tang} mt - \frac{\alpha\varphi_0{}^2\varphi_1}{m(\varphi_1{}^2 - \varphi_0{}^2)}\left[t + \right.$$
$$+ \frac{\varphi_1{}^2}{m(\varphi_1{}^2 - \varphi_0{}^2)}\left(\operatorname{tang} mt \,.\, \log\left[\frac{\varphi_1{}^2\sin mt + \varphi_0{}^2\cos^2 mt}{\varphi_1{}^1}\right] + \right.$$
$$\left.\left. + \frac{2\varphi_0}{\varphi_1}\operatorname{arc\,tang}\left(\frac{\varphi}{\varphi_1}\operatorname{tang} mt\right) - 2mt\right)\right],$$

et l'on aura u en multipliant y par $\cos mt$. Pour $t = o$, on doit avoir $u = o$ ou $y = o$, $\frac{d\varphi}{dt} = o$, et en vertu de la valeur initiale de $\frac{d\theta}{dt}$

$$\frac{du}{dt} = \varphi_1 m = \frac{dy}{dt};$$

d'où l'on déduit pour les valeurs des constantes C, C':

$$(16)\quad C' = o,\ C = \frac{\alpha\varphi_0^2\varphi_1}{m(\varphi_1^2 - \varphi_0^2)}\left[t_1 + \frac{\varphi_1^2}{\varphi_1^2 - \varphi_0^2}\log\frac{\varphi_0^2}{\varphi_1^2}\right] + m_0\varphi$$

Dans le cas particulier ou $\varphi = \varphi_0$, il est plus simple, au lieu de réduire l'équation (15), de remonter à l'équation (14), et de l'intégrer dans cette hypothèse, et l'on trouve ainsi

$$(19)\qquad \frac{dy}{dt} = \frac{C}{\cos^2 mt} - \frac{\alpha\varphi_1}{m}\cos^2 mt$$

$$y = C' + \frac{C}{m}\operatorname{tang} mt - \frac{\alpha\varphi_0}{m^2}\left(mt - \frac{\sin^2 mt}{2}\right)$$

$$C' = o,\quad C = \frac{\alpha\varphi_1}{m} + m\varphi_1.$$

A l'inspection des équations (15) et (17), on voit de suite que les valeurs de t qui annuleront u ou y, ou les durées des révolutions successives, dépendront de φ_1, φ_0, et l'existence de la quantité α ou μ aura par conséquent pour effet d'altérer l'isochronisme du pendule. On pourrait d'ailleurs calculer par approximation et successivement la durée de la première révolution, de la seconde, etc. ; mais ce détail est sans intérêt, et nous ne croyons pas devoir nous y arrêter.

On reconnaîtra facilement que pour obtenir l'intégrale générale de la seconde équation (13), il suffit de

remplacer dans celle de la première que nous venons d'obtenir φ_0 par φ, et inversement, et mt par $mt + \frac{\pi}{2}$.

En résumé, pour que le balancier quoique à suspension à lames soit sensiblement isochrone, il faut que α, ou le rapport du produit du poids du système qui relie les deux paires de lames par leur longueur à douze fois le moment d'inertie du balancier par rapport à toute perpendiculaire à sa tige mené par son extrémité supérieure, soit une quantité suffisamment petite, et par exemple du même ordre de grandeur que le quarré de l'écart maximum, par rapport à la verticale, condition à laquelle les balanciers de M. Redier paraissent satisfaire d'une manière très-large.

CONSIDÉRATIONS

SUR L'OPPOSITION QUE L'ON OBSERVE SOUVENT DANS LES ALPES ENTRE L'ORDRE STRATIGRAPHIQUE DES COUCHES ET LEURS CARACTÈRES PALÉONTOLOGIQUES, SUIVIES D'UN NOUVEL EXEMPLE DE CETTE OPPOSITION.

Par M. Scipion GRAS, ingénieur en chef des mines.

La chaîne des Alpes, déjà si remarquable par la variété, la puissance énorme et l'aspect particulier des formations qui la composent, l'est aussi à un autre point de vue qui depuis longtemps fixe l'attention des géologues; nous voulons parler de la contradiction qui existe souvent entre l'ordre observé des couches et celui qu'elles devraient offrir d'après leurs caractères paléontologiques. On a quelquefois désigné ces relations géologiques exceptionnelles par le nom d'*anormales.* Nous emploierons nous-même cette expression, mais avec cette réserve que dans tous les cas où les relations dont il s'agit seront bien réelles, le mot *anormal* aura un sens purement relatif, c'est-à-dire qu'il signifiera seulement une opposition aux idées théoriques les plus répandues (1). Considérations préliminaires.

(1) Il n'existe pas d'anomalies dans la nature, mais seulement des lois générales que le plus souvent nous ne connaissons que très-imparfaitement. Cela est surtout vrai en géologie. Il n'est donc pas étonnant que par intervalles des faits bien réels viennent contredire nos idées théoriques. De pareils faits, au lieu d'être rejetés *à priori*, doivent au contraire être examinés avec le plus grand soin. Il est rare qu'il n'en résulte pas quelque progrès pour la science.

Parmi les relations géologiques anormales des couches alpines, la plus anciennement connue et en même temps la plus remarquable est l'alternance des grès anthracifères à empreintes végétales houillères avec des calcaires à fossiles du lias (1). Elle a été signalée en 1828 par M. Élie de Beaumont à Petit-Cœur en Tarentaise et dans la partie des Alpes comprise entre la vallée de l'Arve en Maurienne et la montagne du Chardonnet (Hautes-Alpes). Nous avons nous-même vérifié ce fait important dans tous ses détails et montré qu'il était également vrai au delà du Chardonnet, dans le reste de la Tarentaise, de la Maurienne et du Briançonnais. Depuis lors, plusieurs autres faits paléontologiques anormaux ont été indiqués en Suisse et en Savoie dans des systèmes de couches renfermant des fossiles jurassiques, crétacés ou tertiaires (2). Quoique les cas exceptionnels mentionnés soient déjà assez nombreux, nous croyons que beaucoup sont restés inconnus, parce que les géologues qui les ont observés n'y ont pas vu autre chose que des bouleversements du sol. D'après l'ensemble de nos études sur les Alpes occidentales, nous pensons aujourd'hui qu'il serait difficile de tracer dans le Dauphiné et la Savoie une coupe géologique un peu longue sans que, sur quelques-uns de ses points, la stratigraphie fût en opposition avec ce qu'on appelle les lois de la paléonto-

---

(1) Cette anomalie existe entre des fossiles appartenant à des règnes différents. Elle n'en est pas moins grave, et a été jugée telle par tous les paléontologistes.

(2) Parmi les mémoires où il est fait mention d'inversions paléontologiques, nous citerons particulièrement ceux de MM. Favre et Bruner. Voyez les *Archives des sciences physiques et naturelles de la Bibliothèque universelle de Genève*, tome 11, page 114; tome 21, page 5; et tome 36, page 334.

logie. Ainsi que nous l'avons dit en commençant, l'attention des géologues est aujourd'hui fixée sur ceux de ces cas exceptionnels qui ont été décrits. Quant à leur opinion sur la manière dont on doit les interpréter, nous croyons ne pas nous écarter de la vérité en disant que le sentiment dominant est celui de l'incertitude. Si, d'un côté, les faits signalés paraissent positifs, de l'autre, on hésite à en tirer des conséquences qui modifieraient essentiellement des théories généralement adoptées. On attend que les observations soient plus *nombreuses*. Le but de ce mémoire est d'en faire connaître de nouvelles et de contribuer ainsi à éclaircir, autant qu'il dépend de nous, une question sur l'importance de laquelle on est d'ailleurs d'accord.

Deux manières d'interpréter les anomalies paléontologiques

Avant d'entrer en matière, nous croyons utile de préciser et d'apprécier en peu de mots les deux seules suppositions qu'il soit possible de faire pour interpréter les anomalies paléontologiques dont il s'agit. L'une et l'autre ont eu leurs défenseurs et leurs contradicteurs. D'un côté, on a soutenu que toutes les fois qu'il y avait dans les Alpes des alternances ou des superpositions en désaccord avec les caractères paléontologiques des roches, cela résultait de ce que les couches primitivement dans une position normale avaient été renversées ou repliées sur elles-mêmes par l'effet de dislocations postérieures à leur dépôt, en sorte que l'anomalie était la conséquence de ces bouleversements et nullement d'une dérogation aux lois de la succession des fossiles. D'un autre côté on a rejeté cette explication comme contraire à l'observation. On a dit que si les renversements ou les contournements invoqués étaient réels, ils seraient susceptibles d'être démontrés par des considérations purement stratigraphiques, et que jusqu'à présent, personne n'était par-

venu à donner de pareilles preuves. En dehors de l'explication tirée des bouleversements du sol, il ne reste pas d'autre opinion à adopter que celle de la réalité des exceptions paléontologiques.

L'explication par les bouleversements du sol est en opposition avec l'observation.

La première manière de voir est celle qui se présente d'abord à l'esprit. Elle est conforme aux idées dominantes et ne change rien à l'habitude à peu près générale de classer les couches uniquement d'après les fossiles; mais une doctrine peut être commode sans pour cela être vraie. Celle-ci, dès qu'on veut la soumettre à la sanction de l'observation, soulève les plus grandes difficultés. Si dans les Alpes tous les cas exceptionnels se réduisaient à une simple superposition inverse de celle qui devrait exister d'après la nature des restes organisés, on pourrait, au moins, dans un certain nombre de lieux, supposer un renversement dans la stratification. Nous disons dans un certain nombre de lieux, car il en est où même l'hypothèse d'un simple renversement paraît inadmissible (1). Mais il s'en faut de beaucoup que les anomalies paléontologiques alpines soient en général aussi peu compliquées. Le plus souvent, on observe un groupe de couches A très-régulièrement stratifié, intercalé entre deux autres B et C, qui d'après leurs fossiles, devraient être l'un et l'autre, ou plus anciens ou plus récents que A. Il ne sert de rien alors de renverser tout cet ensemble. Quel que soit l'arc de cercle qu'on lui fasse décrire, si l'anomalie disparaît d'un côté, elle renaît de l'autre. Aussi, dans ce cas, les géologues qui ont adopté l'ex-

(1) Voyez, comme exemple de l'invraisemblance d'un simple renversement, le mémoire de M. Favre *Sur la géologie des bases de la montagne du Môle en Savoie.* (*Archives des sciences physiques*, etc., tome 36, page 334.)

plication par les bouleversements du sol, admettent qu'il y a eu un plissement. Il est clair que dans cette nouvelle hypothèse il ne peut pas être question de ces ondulations à grandes courbures ou de ces froissements accidentels que présentent presque partout les couches dans les montagnes, et qui n'empêchent pas que l'on ne saisisse très-bien leurs relations mutuelles. Pour qu'un plissement puisse être invoqué comme explication, il faut qu'il ait lieu en grand et qu'il soit à angle aigu. *Il faut* concevoir un système de deux assises régulièrement superposées ayant éprouvé dans son ensemble un ou plusieurs contournements très-*étroits*, *dont* les branches sont devenues exactement parallèles par la compression. Il peut résulter en effet d'un pareil accident stratigraphique une intercalation anormale. Mais comme des plissements aussi gigantesques et aussi extraordinaires ne manqueraient pas de frapper les yeux, et que cependant on n'en aperçoit aucune trace, les mêmes géologues qui les ont imaginés, supposent aussi que leur extrémité inférieure est restée *cachée dans le* sein de la terre ou bien que leur extrémité supérieure a été enlevée par une dénudation, ou même, lorsqu'il s'agit d'alternances répétées, que ces deux cas se sont réalisés (1). Si l'on n'avait à expliquer qu'une seule anomalie, on comprend qu'à la rigueur une pareille hypothèse pourrait être soutenue, Mais il n'en est pas ainsi : les intercalations et les alternances en opposition avec les lois paléontologiques s'observent dans une foule de lieux, même sans sortir du terrain anthracifère. Or, nous le demandons, est-il raisonnable dans un pays comme les Alpes, où l'on

---

(1) Voyez, comme exemples de ces plissements, la plupart des coupes théoriques que l'on a données des Alpes.

voit à chaque pas des coupes naturelles de plusieurs centaines de mètres de hauteur, de multiplier des contournements parfaitement invisibles parce que leur inflexion inférieure est enfouie dans le sein de la terre où personne ne peut vérifier son existence et que leur inflexion supérieure a été si bien détruite par les érosions qu'il n'en reste pas la moindre trace (1)? Une pareille doctrine, nous ne craignons pas de le dire, est extrêmement fâcheuse; elle tend à faire descendre la géologie du rang de science positive, pour la ramener à ce qu'elle était autrefois, un assemblage de suppositions chimériques.

Nous ne pouvons nous empêcher de signaler ici le vice de raisonnement dans lequel tombent les savants qui ont recours aux hypothèses dont nous venons de parler. Ils commencent par établir en principe et par élever presque à la hauteur d'un axiome, que *partout* les faunes fossiles doivent se succéder dans le même ordre; ils en *concluent* que les inversions qui ont été constatées, ne sont que des apparences dues à des bouleversements compliqués qui doivent être admis *même quand on ne les voit pas;* ils oublient que ce qui est en question, c'est la réalité ou, si l'on veut, la généralité de ce qu'ils ont appelé les lois de la paléontologie, et qu'il n'est pas permis de s'appuyer sur ces lois mêmes pour combattre les faits qui tendent à prouver qu'elles sont fausses. Ce défaut constant de logique chez des hommes la plupart recommandables par leurs vastes connaissances est digne de remarque. Les esprits atten-

---

(1) La liaison mutuelle intime des couches et leur défaut de symétrie, lorsqu'on les examine dans tous leurs détails, sont aussi des raisons pour ne pas admettre les plissements supposés, mais les auteurs de ces hypothèses n'y regardent pas de si près.

tés y verront un indice non équivoque de la faiblesse de leurs théories.

Raisons pour admettre des anomalies dans les Alpes.

L'impossibilité où l'on a été jusqu'à présent d'expliquer d'une manière satisfaisante par les bouleversements du sol les anomalies paléontologiques des Alpes, nous conduit à examiner quelles difficultés s'opposent à ce qu'on les considère comme des réalités. Elles se réduisent à une seule. On se demande pourquoi de pareils faits ne s'observent pas ailleurs; on objecte qu'il n'y a aucune raison pour que dans les Alpes les anciens êtres organisés n'aient pas suivi dans leur succession le même ordre que dans les pays dont la constitution paléontologique est bien connue, tels que les bassins de Paris et de Londres. Cette objection repose à notre avis sur une erreur. Il est d'abord inexact de dire que hors des Alpes il n'y a pas d'anomalies. On en connaît au contraire beaucoup et elles se multiplient tous les jours (1). Les Alpes offrent seulement cette particularité que les exceptions paléontologiques y sont beaucoup plus fréquentes et surtout plus graves. Mais cette particularité elle-même est susceptible d'une explication plausible. On sait que les formations alpines ont des caractères qui leur sont propres, que par leur composition minéralogique et leur puissance moyenne, elles s'écartent notablement des terrains contempo-

(1) Nous avons fait connaître quelques-uns de ces cas exceptionnels dans le *Bulletin de la Société géologique de France*, tome 14, page 562, année 1857. Tout récemment, M. Casiano de Prado qui a le bon esprit de présenter les faits tels qu'il les a constatés sans s'inquiéter de leur accord avec les théories admises, a publié dans le même bulletin, tome 17, page 516, une coupe de laquelle il résulte que dans la province de Léon en Espagne, des schistes *carbonifères* sont intercalés dans le sein d'un terrain à fossiles *dévoniens* et qu'il en est de même d'un système peu épais de couches renfermant la faune prétendue *primordiale* de M. Barrande.

rains observés ailleurs. Il est aisé de s'en convaincre en comparant les descriptions géologiques que l'on a données de la Suisse, de la Savoie et du Dauphiné avec celles des autres pays de l'Europe. Indépendamment de leur faciès tout spécial, les formations des Alpes présentent un autre trait vraiment caractéristique, qui est de subir des variations énormes d'épaisseur dans des espaces quelquefois extrêmement restreints. Ainsi une couche de 1 à 2 mètres que rien ne distingue d'abord de celles qui l'entourent, peut en se prolongeant devenir une véritable assise de 40 à 50 mètres. De même on voit une assise de 40 à 50 mètres acquérir un développement extraordinaire au point de se changer en un terrain de 1.000 à 1.500 mètres; puis diminuer successivement et reprendre ses premières proportions. Nous avons constaté la réalité de ces variations étonnantes en suivant d'une manière continue des assises faciles à reconnaître et en mesurant ensuite sur divers points l'épaisseur des strates compris entre-deux. Les altérations que l'on observe quelquefois dans la nature minéralogique des couches ne sont pas moins frappantes ni moins rapides que leur variation de puissance. Des calcaires durs, compactes, se changent dans leur prolongement en marnes friables ou bien des marnes en grès. Certaines assises seules restent constantes sur de longs espaces. Enfin, ce qui est surtout remarquable, des couches situées à des niveaux géologiques très-différents peuvent, quant au faciès, offrir une ressemblance parfaite. Comme dans aucune partie des bassins de Paris et de Londres, ni même dans le reste de l'Europe, on n'a signalé des dépôts présentant au même degré de pareils caractères, il est naturel d'en conclure que dans les Alpes, les couches se sont formées sous l'empire de causes géogéniques exceptionnelles. Ailleurs, ces cau-

ses paraissent avoir été le plus souvent uniformes et tranquilles sur des surfaces immenses; elles sont restées fort longtemps les mêmes, ou tout au moins sans modification bien sensible, mais une fois modifiées elles ne sont jamais redevenues ce qu'elles étaient avant. Ici, tout annonce qu'elles ont été au contraire énergiques, tumultueuses et surtout *irrégulières* quant au temps et à l'espace. On est alors en droit de se demander si des différences aussi essentielles dans les causes géogéniques des couches n'en auraient pas entraîné d'également considérables dans l'ordre de succession des faunes fossiles.

Il faut multiplier les faits. Marche à suivre

Nous venons d'exposer les raisons qui tendent à faire admettre dans les Alpes de véritables exceptions paléontologiques. Elles nous paraissent justifier complétement l'opinion des géologues éminents qui se sont rangés à cette manière de voir, mais nous accorderons sans peine que dans une question aussi importante, qui touche aux principes fondamentaux de la science, on ne saurait accumuler trop de preuves; il faut donc multiplier les faits *en les entourant* de tous les détails propres à mettre leur certitude en évidence. La marche à suivre se présente d'ailleurs d'elle-même. On doit prouver dans chaque cas particulier que les relations stratigraphiques en opposition avec la paléontologie ne sont pas seulement apparentes, mais bien réelles; puis, qu'il y a impossibilité de les expliquer par des bouleversements du sol. On rencontre fréquemment dans les pays de montagnes des couches qui, à une très-petite distance d'un terrain plus ancien, paraissent s'enfoncer dessous quoiqu'en réalité cela n'ait pas lieu (1). Il est facile de se

(1) On doit s'étonner que quelques géologues aient pris au sérieux ces apparences souvent grossières et qu'ils en aient

garantir de toute méprise à cet égard en cherchant un endroit où la jonction des deux terrains soit parfaitement à découvert. En général il suffit de suivre pendant quelque temps leur ligne séparative pour arriver sur des points où leurs véritables relations géologiques se montrent avec un grand degré d'évidence. Lorsqu'on a reconnu d'une manière certaine que tel groupe de couches repose bien sur un autre, il reste à examiner s'il n'y a pas eu un renversement ou un plissement. Cette dernière étude est toujours susceptible de donner des résultats positifs. Les grands accidents stratigraphiques quand ils existent sont apparents et on ne manque jamais de les apercevoir en suivant les couches sur une étendue suffisante; on peut donc les décrire avec précision et prouver leur réalité par des considérations indépendantes des fossiles. Si on n'en découvre aucun vestige ou même, ce qui arrive souvent, si la supposition de leur existence est contredite par un examen approfondi des lieux, il est légitime de les rejeter comme des chimères. Le mémoire de M. Élie de Beaumont sur *Petit-Cœur* peut être considéré comme un exemple, et en même temps comme un modèle, de la méthode que nous venons d'indiquer.

Anomalie dans la vallée d'Entremont.

La nouvelle anomalie paléontologique que nous nous proposons de décrire appartient au terrain crétacé. Il s'agit de couches à fossiles de la craie blanche qui, dans la vallée d'Entremont, sont positivement intercalées entre d'autres à faune néocomienne. Ce terrain, dont l'ensemble constitue l'étage le plus élevé de la craie des Alpes, se montre au nord-est des montagnes de la Grande-Chartreuse, un peu au delà des frontières du

même conclu qu'il n'était pas possible de faire de bonnes observations stratigraphiques dans les Alpes.

département de l'Isère. La carte géologique jointe à ce mémoire indique du reste sa situation avec toute la précision désirable. Comme la vallée d'Entremont a déjà été étudiée par MM. Favre et Lory, nous croyons indispensable d'analyser les observations de ces deux savants (1) avant de faire connaître les nôtres ; car un des moyens les plus sûrs de découvrir la vérité en géologie, lorsqu'on ne peut soi-même vérifier les faits, est la comparaison attentive des diverses descriptions qui ont été données de la même localité.

M. Favre, après quelques détails sur l'aspect physique des lieux, leur assigne la constitution géologique suivante. La chaîne des montagnes située à l'ouest serait composée, sur le revers qui regarde le vallon de Corbel, de couches jurassiques auxquelles succéderaient, d'abord des marnes néocomiennes, puis le calcaire à rudistes ou néocomien supérieur; ce dernier régnerait sur le flanc droit de la vallée d'Entremont. A l'est, il y aurait exactement la même succession de couches. Le terrain jurassique occuperait la partie la *plus basse de la* vallée et une grande partie de son versant gauche. Après viendrait le néocomien inférieur, enfin le calcaire à rudistes dont est formée la partie la plus élevée de la chaîne du Granier (2). C'est dans l'intérieur et sur le flanc droit de la vallée ainsi constituée que se trouverait le terrain crétacé proprement dit. Observations de M. Favre.

(1) Ces observations ont été faites à peu près en même temps et publiées à la même époque. Voyez, pour le mémoire de M. Favre, les *Archives des sciences physiques*, etc., tome 19, page 265, et pour celui de M. Lory, le *Bulletin de la Société géologique*, 2° série, tome 9, page 266 et le *Bulletin de la Société de statistique de l'Isère*, 2° série, tome II, page 54.

(2) Voyez la coupe, Pl. II, *fig.* I. Cette coupe et les autres jusqu'au n° IV ont été extraites des mémoires de MM. Favre et Lory.

D'après M. Favre, il occuperait un espace à peu près triangulaire d'un kilomètre environ de côté. Il s'appuierait d'une part sur le calcaire à rudistes et de l'autre sur le terrain jurassique. La succession de ces assises serait la suivante, en allant de bas en haut ou de l'ouest à l'est :

1° Un calcaire rougeâtre, siliceux et rugueux, à fossiles indéterminables, qui est peut-être l'équivalent de l'assise aptienne ;

2° Une espèce de poudingue ferrugineux à ciment calcaire d'un pied d'épaisseur, dans lequel on a trouvé un *inoceramus concentricus*, ce qui tend à le faire rapporter au Gault ;

3° Des marnes crayeuses avec silex et fossiles de la craie blanche ;

4° Une assise calcaire de 6 à 10 mètres de puissance, dure, tenace, et pétrie de silex. Cette dernière assise s'observe au sommet du coteau crayeux, nommé la *Pointière ;* ce serait de la craie blanche endurcie ou peut-être même le terrain *danien.*

Les marnes crayeuses n° 3 renferment beaucoup de fossiles. Ceux dont la détermination spécifique a paru la plus sûre sont les suivants :

Belemnitella mucronata, D'ORB.
Inoceramus regularis, D'ORB.
Inoceramus Goldfusianus. D'ORB.
Ostrea vesicularis, LAMK.
Ananchytes ovata, LAMK.
Ananchytes conica, AG.
Micraster coranguinum, AG.

M. Favre fait remarquer que le terrain de la craie blanche dont il évalue la puissance à 150 ou 200 mètres, a du côté de l'ouest une position tout à fait nor-

male mais qu'il n'en est pas de même au nord et à l'est. Au nord, en suivant le torrent qui descend des Déserts à Entremont, on voit les couches de craie plonger sous les marnes rapportées au terrain oxfordien (1), mais, d'après l'auteur, il n'y aurait là qu'une apparence due à une faille dirigée de l'est à l'ouest, qui d'un côté aurait disloqué le calcaire à rudistes du mont Granier, et de l'autre aurait ouvert le défilé nommé *cluse* par lequel on se rend des Déserts à Corbel.

M. Lory a donné de la constitution géologique de la vallée d'*Entremont*, une idée qui, dans son ensemble, se rapproche beaucoup de celle de M. Favre, mais qui en diffère cependant par quelques détails importants que nous allons faire connaître. D'après M. Lory, le terrain de la craie ne présenterait dans cette vallée que deux étages. L'inférieur correspondrait au Gault; il serait composé d'une assise lumachellique d'une vingtaine de mètres d'épaisseur et d'une petite couche de Gault proprement dit avec les coquilles qui en sont caractéristiques. Le second étage ayant au moins cent mètres de puissance serait le représentant de la craie blanche: il offre une longue succession de couches marneuses d'aspect crayeux, d'abord grises, jaunâtres, assez dures, sans fossiles et sans véritables silex; puis plus tendres, d'un gris blanchâtre, avec rognons ferrugineux et diverses coquilles de la craie supérieure. Les couches les plus élevées sont très-dures et remplies de silex; on y trouve la *Belemnitella mucronata* et la *Janira quadricostata*. Observations de M. Lory.

En comparant les Coupes I et III, on voit que MM. Favre et Lory, s'accordent à faire appuyer à l'ouest le terrain crétacé contre le calcaire à Rudistes; mais du

(1) Voyez la coupe *fig.* II.

côté de l'est, les relations qu'ils ont supposé exister entre ce même terrain et les marnes considérées par eux comme oxfordiennes sont essentiellement différentes. D'après le premier de ces géologues, les marnes crayeuses reposeraient purement et simplement sur le terrain jurassique. D'après le second, il y aurait eu postérieurement au dépôt de la craie une grande faille dirigée du nord au sud, parallèlement à la vallée, contre la paroi verticale de laquelle les couches crayeuses iraient buter. M. Lory n'admet pas non plus comme M. Favre, qne la craie ait couvert un espace triangulaire d'un kilomètre de côté; il indique son prolongement au sud jusque sous le château d'Entremont. La coupe, fig. IV, qu'il donne de cette dernière localité, offre, indépendamment de la faille déjà mentionnée, une autre complication. La craie blanche n'est plus en contact immédiat avec le terrain oxfordien. L'auteur suppose que l'effet d'un repli les deux assises de la formation néocomienne sont venues s'intercaler entre-deux.

Les fossiles cités par M. Lory comme trouvés dans les couches qu'il rapporte à la craie supérieure sont les suivants ; *Belemnitella mucronata*, *Hamites armatus*, *Inoceramus cuvieri*, *Inoceramus cuneiformis*, *Janira quadricostata*, *Ananchytes conica*, *Micraster cordatus*. A part la *Belemnitella mucronata* et l'*Ananchytes conica*, ces espèces ne sont pas les mêmes que celles qui ont été indiquées par M. Favre. Nous ne savons d'où provient cette différence. Quoi qu'il en soit, nous ne révoquons pas en doute que les caractères paléontologiques de ces couches ne soient bien ceux de la craie blanche,

Division des couches en six groupes.

Nous allons maintenant rendre compte de nos propres observations. En ayant égard à la nature minéralogique, aux fossiles, et aux relations de position des couches de la vallée d'Entremont, nous avons été con-

duit à les partager en six groupes principaux dont cinq sont dirigés à peu près du nord au sud. On les traverse par conséquent dans toute leur largeur, en marchant de l'ouest à l'est, et dans ce sens ils sont désignés sur notre carte et nos coupes par la série des lettres E, D, C, B, A. Indépendamment de ces cinq groupes, il en existe un sixième X qui constitue à lui seul, au nord-ouest de la vallée, un plateau très-élevé, nommé le mont *Hauteran*. Nous verrons dans la suite que cette montagne paraît correspondre exactement sous le rapport géologique au mont *Granier* situé à l'est, et que par suite on doit considérer le système X comme l'équivalent de C, B, A. Il est vrai que le premier groupe, est beaucoup moins puissant que les trois autres réunis, mais cette objection paraîtra de peu de valeur, à ceux qui auront observé comme nous les brusques et considérables variations que les formations alpines éprouvent dans leur prolongement.

Nous allons étudier successivement les divers groupes que nous venons d'indiquer, d'abord dans leur nature minéralogique et leurs fossiles, puis dans leurs relations stratigraphiques. Ces deux études sont bien distinctes et dans la pratique elles doivent toujours être indépendantes l'une de l'autre.

Le groupe E, ou le premier à l'ouest, consiste principalement en une puissante masse d'un calcaire blond, quelquefois gris, qui par sa texture et sa couleur, rappelle assez bien le néocomien supérieur nommé *Urgonien* par M. d'Orbigny. Il n'est pas rare d'y rencontrer des silex. Quant à ses fossiles, ils paraissent être, au moins pour la plupart, néocomiens; nous y avons recueilli une *Caprotina Lonsdalii* bien caractérisée. Un des points les plus favorables pour bien observer cette assise est le petit village de la Frassette situé à 1.500 Groupe E.

mètres, N.-N.-E. de Saint-Pierre-d'Entremont. A partir de ce village, on peut le suivre vers le sud et s'assurer qu'après avoir servi de support au château d'Entremont, elle constitue l'arête culminante du Grand-Som, et un peu plus loin celle du Charmant-Som. Cette même assise peut être également suivie au nord de la Frassette, et l'on voit avec évidence qu'elle forme les parois de la fente étroite ou de *la cluse*, mentionnée plus haut. Immédiatement au-dessus de ce calcaire, on observe des couches d'un grès ferrugineux, à points verts et grains de quartz cimentés par du carbonate de chaux, qui renferment ordinairement des débris de fossiles indéterminables, particulièrement des restes de crinoïdes. Dans sa partie inférieure il passe en général à un calcaire jaunâtre à plaquettes miroitantes. Ces couches arénacées dont la puissance moyenne nous a paru être de 10 à 12 mètres, recouvrent le calcaire à caprotines entre le hameau de la Frassette et la cluse; elles l'accompagnent partout et remontent fort haut sur sa pente. A cause de cette liaison, nous les avons réunis pour en faire le groupe E, qui comprend aussi des marnes inférieures au calcaire.

Groupe D. Le système D qui succède au précédent est celui où l'on trouve les fossiles de la craie blanche. Il nous a paru se diviser nettement en deux assises. La plus basse, qui est en même temps la plus épaisse, est essentiellement composée de marnes à texture fine et compacte en petit, mais offrant en grand une structure schisteuse Elles sont blanchâtres et d'un aspect crayeux avec nodules ferrugineux et parties siliceuses arrondies qui ne sont pas nettement séparées du reste de la masse. En général elles sont peu dures; elles deviennent même friables et presque argileuses dans leur partie la plus élevée où elles contiennent beaucoup de silex. Leur puis-

sance extrêmement variable suivant les lieux, ne dépasse pas 150 à 200 mètres. L'assise supérieure est un calcaire en général dur, tenace, de couleur blanchâtre avec beaucoup de silex ; elle est quelquefois semblable par sa couleur et sa texture au calcaire *urgonien;* d'autres fois, elle prend un aspect marneux. Cette assise qui correspond à celle que M. Favre avait présumé être le terrain danien, s'observe sur le versant oriental de la colline nommée *la Pointière;* son épaisseur ordinaire est de 15 à 20 mètres. Le village de la Frassette déjà cité est encore un bon point de départ pour l'étude de la formation crayeuse D. De là, on peut la suivre d'une manière continue vers le nord jusqu'au village des Déserts. Au delà de ce point, sa puissance diminue rapidement, ses caractères minéralogiques s'altèrent et elle cesse d'être distincte des couches environnantes avant que l'on ait atteint le col du Mollard. Au sud de la Frassette, la même formation est recouverte sur plus d'un kilomètre de longueur par un terrain de transport composé de gros blocs et de cailloux plus ou moins anguleux. Ce dépôt probablement d'origine glaciaire couvre un espace assez considérable aux environs de Saint-Pierre-d'Entremont ; il paraît être descendu en partie de la gorge du Guier, en partie de celle de Bovines qui aboutit à la sommité du Grand-Som. Au delà de ces matières de transport, on peut encore observer la formation crayeuse sous le château d'Entremont, le long du grand chemin qui conduit à Entre-deux-Guiers. Elle y est moins puissante et moins riche en fossiles qu'entre la Frassette et les Déserts ; mais ses relations géologiques avec les terrains environnants y sont extrêmement nettes. Nous en parlerons plus tard.

Bien que nous ayons passé peu de temps à chercher des fossiles dans la formation D, nous y avons trouvé sans peine plusieurs de ceux qui ont été indiqués par MM. Favre et Lory. Ainsi nous avons recueilli près de la Frassette la *Belemnitella mucronata*, le *Micraster cordatus* et beaucoup de ces plaques fibreuses que nous rapportons avec M. Lory à l'*Inoceramus Cuvieri*. Les empreintes d'inocérames (*Inoceramus cuneiformis?*) y sont particulièrement abondantes. Entre la Pointière et les Déserts, nous avons rencontré une *Ananchytes conica* et plusieurs exemplaires de la *Belemnitella mucronata*. Ces fossiles nous ont paru se montrer indifféremment à toutes les hauteurs de l'assise marneuse inférieure ; ils manquent ou ils sont rares dans le calcaire à silex qui forme l'assise supérieure.

Groupe C. Le troisième groupe C est beaucoup plus puissant et plus continu dans son ensemble que le groupe précédent. Il est formé à sa partie inférieure de schistes argilo-calcaires gris ou bleu foncé, qui par leur aspect et leur couleur rappellent soit les schistes oxfordiens, soit certaines marnes également schisteuses, que l'on rencontre quelquefois dans le sein du néocomien inférieur (1). A ces schistes dont la puissance atteint sur quelques points 200 ou 300 mètres, succède une assise de 20 à 25 mètres d'un calcaire compacte gris foncé, qui par ses caractères extérieurs ressemble beaucoup au calcaire oxfordien. Cette assise est remarquable par un contournement en forme de S, qui s'observe dans toute l'étendue de la vallée, particulièrement sous le village des Rigaux où il est très-appa-

(1) On peut citer comme exemple les marnes situées au-dessus du rocher d'Aisy sur la rive gauche de l'Isère, entre Grenoble et Voreppe.

rent. On voit les bancs d'abord à peu près horizontaux se relever sensiblement vers l'est, puis s'arrondir et finir par plonger légèrement du même côté. Les schistes immédiatement inférieurs participent à cette allure. MM. Favre et Lory ayant admis sans discussion que ce groupe était jurassique, nous nous attendions à voir cette opinion confirmée par des fossiles et nous n'avons pas été médiocrement surpris d'arriver à un résultat tout contraire. Le groupe C ne renferme aucun vestige de coquilles jurassiques; il en offre au contraire de bien caractérisées qui sont néocomiennes. On peut vérifier le fait sur le chemin qui conduit de Saint-Pierre-d'Entremont à Entremont-le-Vieux, à 600 mètres environ du premier village. Il y a en cet endroit un escarpement entièrement dénudé de schistes argilo-calcaires presque noirs, qui s'aperçoit de loin. Ces schistes sont associés à des bancs calcaires fortement inclinés, en grande partie brisés et éboulés, où l'on trouve beaucoup de coquilles, soit au-dessus, soit au-dessous du chemin. Nous y avons recueilli la *Terebratula prælonga* et l'*Ostrea macroptera*, une rhynchonelle ressemblant beaucoup à la *Rhynchonella depressa*, une espèce d'ammonite probablement nouvelle, voisine de l'*Ammonites neocomiensis*, et d'autres coquilles trop fortement engagées dans la pierre pour être nommées avec certitude, mais ayant toutes un faciès crétacé. La *Terebratula prælonga* est particulièrement abondante. Enfin à Saint-Pierre-d'Entremont, sur la rive gauche du Guier, le prolongement de ces mêmes marnes nous a offert des tronçons du *Belemnites bipartitus*, fossile sur lequel il n'est pas possible de se méprendre. Les caractères paléontologiques de ce système de couches sont donc ceux des marnes néocomiennes, et nous présumons que c'est uniquement d'après les caractères

extérieurs que MM. Favre et Lory l'ont rapporté au terrain oxfordien (1).

Groupe B. Le quatrième groupe B est d'abord composé de marnes friables qui sont assez semblables à celles du groupe C, et nous ont paru n'en différer que par une teneur plus considérable en argile. Elles forment la base des pâturages à contours arrondis où l'on a bâti les groupes de chalets nommés la *Plagne* et *Tencove*. Dans leur partie supérieure, ces marnes argileuses acquièrent de la consistance et alternent avec des marnes calcaires solides qui finissent par devenir la roche dominante. Cet ensemble de couches a au moins 250 mètres de puissance. On le traverse dans toute sa largeur en suivant le sentier qui conduit d'Entremont-le-Vieux aux pâturages de l'Arc. Les marnes argileuses commencent un peu au delà du village de Grenéry; puis on atteint bientôt les marnes calcaires. Ces dernières présentent sur le chemin même et sans qu'il soit nécessaire de chercher beaucoup, le *Toxaster complanatus* et l'*Ostrea Couloni*. Ces deux fossiles sont communs dans les Alpes et ont été considérés jusqu'à présent comme caractérisant le néocomien inférieur.

Groupe A. Le cinquième groupe A constitue la partie la plus élevée de la chaîne du Granier. Il consiste en une énorme assise d'un calcaire blanc, compacte, quelquefois rempli de silex, dont la puissance est d'environ 200 mètres. Il est presque partout coupé à pic. On peut cependant le gravir à l'aide d'un petit sentier, étroit et sinueux, pour l'établissement duquel on a profité d'une fracture ouverte dans le sein de la roche. Les fossiles y sont peu communs. Ceux que l'on ren-

(1) Nous avons déposé à l'École des mines les fossiles trouvés dans le groupe C.

contre principalement sont la *Nerinea Chamousseti* et le *Radiolites Marticensis*, indiqués tous deux comme appartenant au néocomien supérieur. En suivant son prolongement vers le sud-ouest, nous y avons trouvé en outre au-dessus du Touvets (Isère), la *Caprotina Lonsdalii*. Cette assise est recouverte sur une partie de son étendue par 5 à 6 mètres d'un calcaire jaune, arénacé, à points verts, extrêmement semblable à celui qui forme la partie supérieure du groupe E; il n'en diffère que par la présence d'orbitolites quelquefois très-nombreuses. Le calcaire blanc, compacte, dont nous venons de parler et les couches arénacées peu épaisses qui les recouvrent, servent de base à un plateau assez étendu où se trouvent les pâturages de l'Arc et de l'Alpette. Ce plateau dont l'altitude moyenne est de 1,600 à 1,700 mètres, est terminé de tout côté par des escarpements presque verticaux. Sa surface est inégale par suite de fractures et de failles locales que le sol a éprouvées.

Relations stratigraphiques des groupes précédents.

Après cette esquisse des caractères minéralogiques et paléontologiques des cinq groupes E, D, C, B, A, nous allons passer à leurs relations stratigraphiques.

La position relative de l'assise calcaire A et des marnes B ne peut être l'objet d'aucun doute. Les marnes servent partout de base au calcaire qui présente au-dessus sa tranche coupée à pic.

Au premier aspect, les relations des groupes B et C sont moins évidentes. Cependant à l'aide de quelques recherches, il est facile de s'assurer que le calcaire gris compacte formant la partie supérieure de C s'enfonce positivement sous les marnes B. Cette superposition est très-claire au village des Rigaux placé sur la ligne de jonction des deux systèmes. On peut également la constater au village de Grenéri.

Si maintenant nous passons aux groupes E et D situés sur le versant opposé de la vallée, leur position relative ne pourra non plus être l'objet d'aucun doute. Depuis la Frassette jusqu'à l'entrée de la cluse, on voit très-nettement les marnes à fossiles de la craie blanche s'appuyer sur les grès formant la partie supérieure de E. Sur plusieurs points, la ligne de contact est à découvert et la superposition peut être constatée d'une manière rigoureuse.

Examen particulier des relations entre D et C.

Il ne reste plus à considérer que les groupes D et C. On sera peut-être étonné d'apprendre que leurs relations géologiques ne sont pas moins *claires* que celles des groupes précédents. Le fait est cependant exact. Si ces relations n'ont pas été aperçues par MM. Favre et Lory, cela tient uniquement à ce que, l'un et l'autre, convaincus *à priori* que les marnes crayeuses devaient être plus récentes que le groupe C, ont abandonné l'observation qui aurait prouvé le contraire, pour adopter des idées théoriques, sur lesquelles d'ailleurs ils ne se sont pas trouvés d'accord. Les marnes D à *Belemnitella mucronata* sont positivement recouvertes par le groupe C à fossiles néocomiens. La localité la plus favorable pour constater cette superposition est le village des Courriers situé à un kilomètre environ nord-est de la Frassette. Si arrivé en cet endroit, on regarde vers le nord, on se trouve en face d'un petit vallon V (1), dont l'entrée est à 30 ou 40 mètres au-dessus des maisons du village. On peut y monter par un petit sentier à pente roide qui de là conduit à un autre hameau nommé les Gandis. A gauche du spectateur, l'entrée du vallon est dominée par une colline assez élevée formée de marnes crayeuses distinctement stratifiées qui plongent vers la

(1) Voyez la coupe, *fig.* III.

région est. Du côté opposé, on voit s'élever des bancs calcaires durs, blancs, avec silex qui évidemment reposent sur les marnes précédentes et plongent de la même manière. Les marnes inférieures situées à gauche représentent sans aucun doute l'assise la plus basse de la formation crayeuse D; elles en ont tous les caractères et nous y avons trouvé une *Belemnitella mucronata*. Quant aux bancs calcaires qui s'élèvent à droite, ils correspondent à l'assise la plus élevée de la même formation. Le vallon V se trouve creusé précisément à la jonction des deux assises, dans le sein de marnes friables à silex qui occupent ordinairement cette position. La surface supérieure de l'assise calcaire située à droite forme un plan incliné très-net, xx', qui descend régulièrement vers l'est avec une pente de 28 à 30 degrés. Sur ce plan incliné reposent en stratification concordante des schistes argilo-calcaires gris foncé, en général très-feuilletés. Ils commencent tout à fait au sommet du plan incliné en x et en suivent la pente jusqu'au fond de la vallée. Leur ligne de contact avec le calcaire est à découvert sur toute cette longueur. Leur épaisseur d'abord peu considérable paraît aller en augmentant à mesure que l'on s'éloigne du point x. Elle peut être évaluée moyennement, pour ce qui est visible, à 30 ou 40 mètres. Sur ces schistes reposent des bancs épais d'un calcaire gris, compacte, qui sont évidemment contournés en forme de S, accident stratigraphique dont nous avons déjà parlé et qui n'est pas rare dans les Alpes. Ils paraissent avoir été violemment disloqués et leur masse est partagée sur toute sa hauteur en deux parties par une fente étroite au fond de laquelle coule le torrent de la vallée nommé le *Causon*. Le rocher détaché qui s'élève sur la rive gauche supporte une vieille muraille, reste d'un château du moyen âge.

Au-dessous et un peu plus à l'est, se trouve le chemin qui conduit à Entremont. Ce calcaire fracturé et les schistes qu'il recouvre ne sont pas autre chose que notre groupe C, qui très-près de là, au village des Rigaux, s'enfonce évidemment sous les marnes B.

Après avoir constaté la superposition positive des schistes argilo-calcaires C sur le calcaire à silex de la formation crayeuse, nous nous sommes appliqué à suivre à partir du point *x*, en marchant vers le nord, la ligne séparative des deux groupes. Elle est très-nette à la surface du sol à cause de l'opposition qui existe entre les roches sous le rapport de la dureté. Le calcaire à silex forme à gauche un plan incliné à arête saillante qui plonge constamment vers l'est. Les schistes argilo-calcaires reconnaissables de loin à leurs formes arrondies suivent le pied de ce rocher saillant. Leur surface est presque partout gazonnée. Cependant ils offrent par intervalles des affleurements très-rapprochés du calcaire et inclinés exactement comme lui. L'examen le plus scrupuleux des lieux n'y fait rien découvrir qui ressemble à une faille et il n'y a pas dans l'ensemble de la stratification le plus léger indice qui puisse faire croire que la formation crayeuse ne soit pas couverte par les schistes. Cette relation n'est pas moins évidente, lorsque arrivé près du village des Bessons, on tourne vers le N.-N.-O., pour remonter le cours du ruisseau qui a sa source au col du Mollard. Par l'effet d'une lo d'érosion dont il existe de nombreux exemples, ce ruisseau a creusé son lit justement à la jonction d'une roche dure qui est ici le calcaire à silex et de roches tendres qui sont les schistes argilo-calcaires du groupe C. Comme le thalweg du ravin coïncide avec la ligne séparative des deux groupes, celle-ci est couverte de débris amenés par les eaux ou provenant de l'éboulement des

berges. Néanmoins nous ne pensons pas qu'un observateur libre d'idées théoriques, qui aura suivi le fond sinueux de ce ravin et vu partout le calcaire à silex plonger régulièrement sous les marnes schisteuses distantes seulement de quelques mètres, puisse conserver des doutes sur leur position relative.

Nous allons revenir au village des Courriers afin d'entreprendre au sud la même étude que nous venons de faire au nord. Depuis les Courriers jusqu'à la Frassette, la ligne séparative des groupes D et C se confond à peu près avec le cours du Causon. Cette circonstance jointe surtout aux grandes dislocations que le sol a éprouvées, empêche de voir avec clarté aucune relation géologique. Quand on a atteint la Frassette, les marnes crayeuses sont recouvertes, ainsi que nous l'avons déjà dit, par un dépôt de débris caillouteux, mais elles reparaissent plus loin au delà du Guier et une coupe naturelle très-nette que l'on observe le long de la route de Saint-Pierre à Entre-deux-Guiers, met encore en évidence leur position géologique relativement au groupe C. La puissante assise calcaire de la Frassette qui en se prolongeant vers le sud va former l'arête culminante du Grand-Som, coupe le Guier au-dessous du château d'Entremont. Il y a en cet endroit un défilé extrêmement étroit, entièrement occupé par le torrent, en sorte que pour le passage de la route on a été obligé de la tailler dans le sein même de l'assise calcaire. Si prenant pour point de départ cette assise qui plonge vers l'est, on se dirige de là vers Saint-Pierre-d'Entremont, on ne tarde pas à rencontrer des couches arénacées évidemment superposées au calcaire. Elles sont formées d'un grès assez fortement coloré en vert, à grains de quartz et à ciment de carbonate de chaux, dans lequel on observe des silex, des pointes d'échinides brisés et

des fragments d'huîtres. Ces bancs à points verts dont la puissance ne dépasse pas 10 à 12 mètres nous ont paru correspondre exactement à ceux qui constituent la partie supérieure du groupe E. A ces grès succèdent des marnes crayeuses, d'un blanc légèrement verdâtre, compactes, schisteuses, qui par leur texture et leur aspect rappellent complétement les couches à coquilles de la craie blanche décrites précédemment. Nous n'y avons observé aucun fossile, mais M. Lory plus heureux que nous et dont les recherches ont d'ailleurs précédé les nôtres, assure y avoir recueilli de beaux exemplaires de la *Belemnitella mucronata* (1). La puissance de ces marnes crayeuses est ici réduite à 60 ou 70 mètres. Elles sont recouvertes en stratification concordante par une assise de 20 à 25 mètres d'un calcaire compacte, blond ou blanc à sa partie inférieure, gris avec tâches jaunes à sa partie supérieure où sa structure devient un peu schisteuse. Cette assise par ses caractères extérieurs et sa position géologique, nous a paru représenter le calcaire dur, siliceux, qui couronne la formation crayeuse. Ce calcaire s'enfonce bientôt lui-même sous une longue série de marnes grises et de calcaires marneux bleuâtres que l'on pourrait suivre jusqu'à Saint-Pierre d'Entremont si le terrain de transport des environs de ce village ne les recouvrait sur la rive gauche du Guier. Cette succession de couches est représentée par notre coupe fig. 4. En la comparant à celle de M. Lory, *fig.* IV, on voit que celle-ci en diffère surtout par des dénominations théoriques. Ainsi M. Lory appelle *néocomien supérieur* l'assise calcaire superposée aux marnes à *Belemnitella*, cette superposition étant sui-

(1) *Bulletin de la Société statistique de l'Isère*, tome 2, 2e série, page 82.

vant lui le résultat d'un plissement qui aurait renversé le calcaire sur les marnes. Comme il aurait été difficile de comprendre que le néocomien supérieur eût été seul renversé, l'auteur a été conduit à rapporter au néocomien inférieur une partie des couches marneuses qui succèdent à ce calcaire. Le reste est considéré par lui comme de l'oxfordien. Nous ne pensons pas que ces idées théoriques soient admissibles; car d'un côté les prétendues marnes oxfordiennes renferment à Saint-Pierre-d'Entremont le *Belemnites bipartitus;* de l'autre l'étude des lieux ne fait découvrir aucun vestige ni de plissement (1) ni de faille. On n'y voit qu'une série naturelle d'assises dont la continuité stratigraphique n'est nullement interrompue. Il est pour nous évident que ces divers groupes étant semblables à ceux de la vallée d'Entremont et se succédant dans le même ordre en sont purement et simplement le prolongement, sauf que leur ensemble paraît avoir éprouvé un rejet de quelques centaines de mètres dans le sens de l'est à l'ouest (2). Ce rejet a coïncidé avec l'ouverture de la

(1) La coupe, *fig.* IV, est en contradiction par ses détails avec l'hypothèse d'un plissement. En effet, si le néocomien supérieur avait été replié et renversé sur le terrain de la craie, les couches arénacées G qui surmontent ce néocomien auraient été repliées en même temps, en sorte qu'on les verrait à la fois au-dessus et au-dessous des marnes crayeuses. Cette symétrie manque dans la coupe de M. Lory, et, ce qui est surtout concluant, on n'en voit aucune trace sur les lieux. Quand il n'y aurait que cette raison pour rejeter le plissement supposé, elle serait suffisante.

(2) Un rejet semblable s'observe dans la vallée transversale de l'Isère entre Grenoble et Voreppe. Quoique le vallon de Lans qui s'ouvre sur la rive gauche ne soit que la continuation géologique de celui de Proveysieux situé sur la rive droite, ils ne sont point exactement en face l'un de l'autre, tout le terrain de la rive gauche ayant subi un mouvement de translation de

fente profonde dans laquelle coule aujourd'hui le Guier-vif entre Saint-Pierre d'Entremont et les Échelles.

Système X ; ses relations avec E et D.

Pour compléter ce que nous avons à dire des relations stratigraphiques des divers groupes de la vallée d'Entremont, il nous reste à parler du système X qui constitue le mont Hauteran. Cette montagne un peu moins haute que le Granier situé en face paraît lui correspondre sous tous les rapports. Elle consiste comme elle en un plateau escarpé de tout côté, formé à sa partie supérieure d'une puissante assise d'un calcaire blanc compacte, ayant tous les caractères du néocomien supérieur, et à sa base, d'un groupe marneux où l'on trouve les fossiles du néocomien inférieur. M. Favre cite dans ces marnes le *Toxaster complanatus*, l'*Ostrea Couloni*, et la *Pholadomia elongata* (1). Il exprime en même temps l'opinion que le mont Hauteran dans son ensemble doit être considéré comme le prolongement latéral ou la continuation de la chaîne du Granier. Comme le système X se trouve très-rapproché des marnes crayeuses D ainsi que du calcaire à Caprotines E, on comprend qu'il y a un grand intérêt à examiner leur position relative, une pareille étude ne pouvant que jeter un nouveau jour sur la véritable constitution géologique de la vallée.

Il est facile de déterminer les relations de X avec le calcaire E. En effet, ainsi qu'on l'a déjà dit, c'est dans l'épaisseur de ce dernier groupe qu'a été ouvert le dé-

---

l'est à l'ouest. La vallée de l'Isère de Grenoble à Voreppe et celle du Guier-Vif, entre Saint-Pierre-d'Entremont et les Échelles, sont à peu près parallèles. Nous croyons qu'elles ont été ouvertes en même temps, lors des dislocations qui ont séparé la fin des terrains tertiaires du commencement des dépôts quaternaires.

(1) *Annales des sciences physiques*, etc., tome 19, p. 271.

filé ou cluse dont les parois se correspondent exactement. Au delà de cette fracture le calcaire E et les bancs en partie marneux sur lequel il repose, tournent au nord-ouest, puis à l'ouest, de manière à fermer complétement au nord le vallon de Corbel. De l'entrée du défilé, on voit très-clairement que ces couches présentent leurs tranches relevées au sud et coupées à pic de ce côté, tandis que du côté opposé, elles servent de support à tout le système qui constitue le mont Hauteran. Cette superposition est tellement manifeste qu'elle ne saurait être l'objet d'aucun doute. On peut d'ailleurs la constater matériellement en marchant sur la ligne de contact des deux terrains qui est à découvert sur une certaine longueur. Les couches qui forment ici la base méridionale du mont Hauteran sont des calcaires marneux, tantôt feuilletés, tantôt en bancs plus ou moins solides. Ils sont en général d'un gris foncé, et rappellent les marnes des groupes C et B; leur épaisseur totale est de 200 à 300 mètres. L'assise de calcaire blanc compacte qui couronne le plateau, paraît avoir 40 à 50 mètres; elle ressemble exactement par ses caractères extérieurs au calcaire du mont Granier et moins parfaitement à celui que traverse la cluse, dont elle est positivement séparée par un puissant système marneux.

Les relations du système X avec les marnes crayeuses D ne se montrent pas avec autant d'évidence qu'avec le groupe E, à cause du gazon qui recouvre ces marnes, et surtout des changements qu'elles éprouvent dans leur puissance et leurs caractères minéralogiques. Cependant en les suivant à l'est des Déserts, nous avons pu constater leur présence au pied même du mont Hauteran sous lequel elles paraissaient plonger. Vers le sud, dans le voisinage de la cluse,

on les voit encore clairement reposer sur le calcaire E. Il n'y a aucune raison de penser qu'il n'en soit pas de même plus à l'ouest, quoique l'altération rapide que les couches subissent dans leur texture et dans leur couleur puisse faire naître des doutes sur leur identité.

Les relations précédentes ne sont pas le résultat des bouleversements du sol.

Nos coupes fig. 1, 2 et 5 montrent les relations mutuelles de tous les groupes de couches que l'on rencontre dans la vallée d'Entremont, ainsi que leur rapport de position avec le système X. Les coupes 3 et 4 indiquent plus particulièrement la position du groupe D relativement aux couches environnantes. Il résulte de l'ensemble de ces coupes qui résument toutes nos observations que les marnes D à fossiles de la craie blanche sont recouvertes par le groupe C à fossiles néocomiens. Comme une pareille superposition est tout à fait anormale pour les géologues qui croient à un ordre de succession invariable des faunes fossiles, nous avons dû examiner si elle ne serait pas le résultat de quelque bouleversement extraordinaire du sol. Cela nous a paru complétement inadmissible et pour le montrer, il ne sera pas nécessaire de nous livrer à une longue discussion. La supposition d'une grande faille dirigée du nord au sud doit d'abord être écartée, car les dislocations de cette nature peuvent donner lieu à des superpositions anormales apparentes et non pas réelles et nous avons vu qu'en allant de l'ouest à l'est tous les groupes de la vallée s'enfoncent positivement les uns sous les autres. L'hypothèse d'un renversement dans la stratification n'est pas plus satisfaisante ; il ne servirait de rien de l'imaginer. En effet le groupe à fossiles de la craie blanche composé de couches toutes régulièrement inclinées vers l'est, ainsi que cela résulte des observations de M. Favre, de M. Lory et des nôtres, est positivement intercalé entre deux assises à fossiles néocomiens.

Que l'on fasse subir à tout ce système une demi-révolution complète et l'on n'en sera pas plus avancé. Quant aux grands plissements, il ne faut pas non plus y songer. Sans parler de l'invraisemblance que de pareils accidents n'aient laissé aucune trace visible, ils auraient donné lieu à une disposition symétrique et à un retour périodique des mêmes couches que l'on n'observe nullement. Quelque effort que fasse l'imagination pour arriver à une explication par ce moyen, elle ne peut y parvenir.

Age géologique des couches étudiées.

Il nous reste à déterminer quel est l'âge géologique de l'ensemble des couches que nous avons étudiées. On éprouverait un grand embarras si pour cette détermination on ne considérait que la vallée d'Entremont. Car ici, comme sur d'autres points des Alpes, les fossiles conduisent à des conclusions contradictoires. Il faut pour résoudre la question faire abstraction des restes organisés et rattacher par des considérations purement stratigraphiques ce petit coin de la Savoie au système crétacé entier du département de l'Isère. Nous avons entrepris ce travail dont voici en peu de mots les résultats.

Il existe dans le département de l'Isère un puissant système de roches à fossiles crétacés, formant une bande dirigée à peu près du nord au sud dont la largeur moyenne est au moins de 18 kilomètres et la longueur de 75. Les montagnes de la Grande-Chartreuse, du Villard-de-Lans et du Vercors en font partie. Du côté du nord, elle se prolonge au loin en Savoie. Au sud elle pénètre dans la Drôme et les Hautes-Alpes. En la soumettant à un examen à la fois stratigraphique et paléontologique, on est conduit à le partager en trois zones à peu près parallèles malgré l'irrégularité de leur contour et dirigées comme la bande totale du nord au sud.

Les couches qui les composent s'enfoncent successivement les unes sous les autres, à mesure que l'on s'avance de l'ouest à l'est.

La zone occidentale, ou la plus ancienne, est essentiellement formée à sa base de couches marneuses plus ou moins feuilletées, suivies de bancs épais d'un calcaire blanc, compacte, subcristallin, renfermant beaucoup de coquilles appartenant à la famille des Rudistes. On trouve dans cette zone au moins les neuf dixièmes des fossiles dits néocomiens qui ont été signalés dans le département en tenant compte à la fois, pour cette proportion, de la variété des espèces et de l'abondance des individus. Lorsque les roches marneuses reposent sur le terrain jurassique, la stratification est concordante sur la ligne de contact et la liaison paraît intime. Nous rapportons au terrain néocomien ce premier système de couches dont font partie quelques-unes des sommités les plus élevées de l'Isère, comme la Sure au sud de Saint-Laurent-du-Pont et le rocher de la Clef au-dessus de Montaud.

La zone moyenne repose sur la précédente en stratification complétement discordante. Tout annonce qu'avant son dépôt le terrain néocomien avait éprouvé dans son relief des modifications notables. Les premières couches qui sont venues recouvrir ce sol disloqué consistent en général en grès quartzeux à points verts, pétris de coquilles brisées, en marnes sableuses, en calcaires schisteux ou compactes, plus ou moins siliceux et presque toujours mêlés de parties vertes. Quand elles sont fossilifères, comme aux environs du Villard-de-Lans on y trouve les coquilles du Gault et de la craie chloritée. Elles sont suivies d'autres couches riches en silex dont les plus élevées consistent principalement en une assise de calcaire blanc, compacte, à Rudistes,

associée quelquefois à des grès verdâtres d'une épaisseur relative beaucoup moindre. Cette dernière assise, qui constitue dans le massif de la Grande-Chartreuse, les sommités du Grand-Som et du Charmant-Som, ressemble beaucoup par ses caractères extérieurs et même par ses fossiles au calcaire supérieur, également blanc et compacte, du terrain néocomien ; mais elle en diffère par la présence de nombreux silex, espèce minérale qui manque complétement dans les calcaires néocomiens à Rudistes de l'Isère. La zone moyenne crétacée paraît représenter la série totale des couches qui s'étendent depuis l'assise aptienne jusqu'à la partie la plus élevée du groupe nommé *turonien* par M. d'Orbigny. Si le calcaire à Rudistes qui termine cette série n'a pas offert jusqu'à présent de fossiles turoniens dans le département de l'Isère, il en contient beaucoup en Provence, notamment près de Mornas (Vaucluse) et aux Martigues (Bouches-du-Rhône).

La troisième zone crétacée forme la bordure orientale de tout le système. Considérée dans son ensemble, elle est essentiellement composée d'un groupe inférieur marneux dont la puissance varie entre des limites extrêmement étendues et qui présente par intervalles à sa base la *Belemnitella mucronata* et des inocérames largement plissées. Les pâturages du Charmant-Som, ceux du col de Portes et des environs de Parizet, village situé sur la rive gauche de l'Isère, au-dessus de Seyssinet, peuvent être cités comme exemples du gisement de ces fossiles à ce niveau géologique. Au-dessus viennent des couches à coquilles néocomiennes, puis une dernière et puissante assise de calcaire blanc à Rudistes que ses fossiles pourraient faire confondre avec le calcaire urgonien, si la présence des silex n'était encore ici un bon moyen de la distinguer. Cette dernière as-

sise, comme celle qui termine l'étage crétacé moyen, est souvent surmontée de couches peu épaisses, marneuses ou arénacées. La superposition de la troisième zone sur la seconde peut être constatée d'une manière positive dans le vallon de Proveysieux, à Parizet, à la Fauge près du Villard-de-Lans, et sur d'autres points. Du côté de l'est, elle repose tantôt sur le calcaire oxfordien, tantôt sur des affleurements de l'étage crétacé moyen. Ceux-ci commencent à devenir apparents dans la vallée du Drac, au village de Claix, et continuent ensuite jusque dans la Drôme et les Hautes-Alpes. La puissante assise calcaire qui couronne tout le système crétacé du département de l'Isère joue un rôle important dans sa structure orographique. Après avoir formé au sud-est de Grenoble une bande de rocher remarquable nommée les *travers de Parizet*, elle s'élève brusquement à une hauteur considérable et constitue, à partir de là, vers le sud, une série continue de sommités dont fait partie la *Moucherolle*, et qui limite à l'ouest la région du département connue autrefois sous le nom de *Trièves*. La même assise se montre au nord de Grenoble, mais elle y a éprouvé de fortes dislocations qui l'ont séparée en tronçons épars, nommés le mont *Néron*, le rocher de l'*Œillette*, la *Pinea*, *Chamachaude* et le *Petit-Som*. Malgré les intervalles, d'ailleurs peu considérables qui les séparent, on reconnaît facilement qu'ils ne formaient jadis qu'une seule masse continue. La ressemblance de leurs caractères minéralogiques et paléontologiques, et surtout l'identité de leur position relativement aux terrains environnants, ne laissent aucun doute à cet égard.

La puissance de ce calcaire surpasse habituellement 150 et peut aller jusqu'à 300 ou 350 mètres. On y trouve quelques coquilles appartenant à la famille des

Rudistes, parmi lesquelles on remarque les *Caprotina ammonia* et *Lonsdalii*. Les marnes situées immédiatement au-dessous présentent dans plusieurs localités le *Toxaster complanatus*. Ce n'est que sur quelques points et tout à fait à la base du système qu'apparaissent la *Belemnitella mucronata* et les *Inocérames*. D'après la nature de ces derniers fossiles, la position géologique des couches qui les renferment et la manière dont elles s'étendent transgressivement à la fois sur l'étage moyen crétacé et sur le calcaire oxfordien, tout cet ensemble paraît devoir être rapporté à la *craie blanche*.

Il nous sera facile maintenant de déterminer avec précision quelle place occupent dans la série des étages crétacés que nous venons d'indiquer les couches de la vallée d'Entremont. A part le groupe E, qui est pour nous l'assise la plus élevée de l'étage moyen, toutes les autres couches appartiennent au troisième étage dont elles constituent l'extrémité nord-ouest. En effet, la chaîne du Granier est la continuation évidente du Petit-Som, qui est lui-même situé sur le prolongement des sommités dont fait partie la *Moucherolle*. Quant au calcaire E, on peut également le suivre sur une très-grande longueur. Après avoir servi de support au château d'Entremont, à la croix du Grand-Som, aux pâturages du Charmant-Som et à ceux de Portes, il forme un affleurement visible sur le revers occidental de la Pinéa et du mont Néron jusqu'au château de Saint-Égrève. Là il s'enfonce sous des alluvions récentes pour reparaître bientôt au delà de l'Isère, au sommet du plateau de Saint-Nizier, où il plonge sous les marnes à *Belemnitella* de Parizet. On l'observe encore plus au sud, dans la vallée de la Fauge. Par sa continuité, ce calcaire à Rudistes n'est pas moins remarquable que celui du Granier; il forme également un

excellent horizon géologique. Les marnes à *Belemnitella* de la Frassette, du Charmant-Som et de Parizet, qui s'appuient immédiatement sur lui, sont, par conséquent, le prolongement rigoureux les unes des autres, ou, pour parler plus exactement, leur position stratigraphique est identiquement la même.

Fossiles néocomiens dans la craie supérieure des Alpes.

Nous venons de montrer la liaison qui existe entre les couches de la vallée d'Entremont et celles de la troisième zone crétacée du département de l'Isère. Nous avons dit aussi que sur divers points, comme dans le vallon de Proveysieux, à Parizet et à la Fauge, on pouvait s'assurer directement que cette troisième zone reposait sur la seconde. Il résulte de là que le fait si remarquable de l'existence d'une faune franchement néocomienne dans la partie la plus élevée de la craie des Alpes n'est pas un accident local; il se vérifie d'un bout du département de l'Isère à l'autre sur une longueur dont le développement peut être évalué à 9 myriamètres.

La conséquence que nous venons de tirer est en contradiction directe avec des coupes données par M. Lory dans son mémoire déjà cité, d'après lesquelles la chaîne prolongement du Granier, au lieu d'être la partie la plus élevée du terrain crétacé de l'Isère, en formerait l'étage inférieur. Mais en examinant ces coupes, on remarque dans toutes des *failles* et des *contournements* qui ont précisément pour effet de produire l'inversion dont nous parlons. Nous avons soumis à une étude spéciale la réalité de ces accidents stratigraphiques et nous nous sommes assuré qu'ils n'étaient pas mieux fondés que ceux de la vallée d'Entremont dont ils sont les analogues et quelquefois la simple répétition. Ils sont inconciliables avec des superpositions très-nettes et très-positives que nous avons constatées sur une foule de points.

Nous terminerons notre mémoire par cette conclusion générale : Conclusion générale.

1° On observe dans la vallée d'Entremont un groupe de couches avec *Belemnitella mucronata* et autres coquilles de la craie blanche, positivement intercalé entre deux autres où l'on trouve des fossiles néocomiens; il n'est pas possible d'expliquer cette intercalation par un renversement ou un plissement de la stratification.

2° En suivant, dans le département de l'Isère, les couches à *Belemnitella mucronata* et celles à fossiles néocomiens qui lui sont superposées, on reconnaît qu'elles constituent un étage distinct, qui, d'après ses relations stratigraphiques et la nature de quelques-uns de ses fossiles, paraît devoir être rapporté à la *craie blanche.*

3° L'existence de fossiles néocomiens dans l'étage crétacé supérieur de l'Isère, le faciès particulier de ses roches et les variations extraordinaires qu'elles éprouvent dans leur puissance, établissent des différences profondes entre cet étage supérieur et celui qui lui correspond, sous le rapport de l'âge, dans d'autres contrées.

4° Comme ces différences profondes, tenant à la fois aux fossiles, aux caractères des roches et à la manière d'être des couches, ne sont pas particulières à l'étage de la craie supérieure comparé à celui des autres pays, et qu'on en trouve d'analogues, sinon de plus fortes, dans d'autres terrains du Dauphiné, il est vraisemblable que ces nombreuses anomalies proviennent d'une source unique, savoir l'ancienne existence de causes géogéniques spéciales, sous l'empire desquelles les Alpes se sont jadis formées et qui en ont fait une région géologique tout à fait à part.

APPENDICE.

Nous espérons que la description que nous avons donnée de la vallée d'Entremont inspirera aux géologues le désir de visiter cette localité curieuse. Afin de faciliter son étude et de prévenir les pertes de temps, nous croyons devoir préciser de la manière suivante les trois faits principaux sur lesquels l'attention des observateurs devra se porter :

1° Depuis un point situé au nord du village des Courriers jusqu'au ravin des Déserts et le long de ce ravin, le terrain crayeux est visiblement recouvert par des schistes argilo-calcaires. Ces schistes sont bien caractérisés et identiques avec ceux qui, un peu au nord de Saint-Pierre-d'Entremont, renferment des fossiles néocomiens. Il n'y a aucun indice de faille.

2° Le système de couches à fossiles néocomiens du mont Hauteran est supérieur à l'assise calcaire dans le sein de laquelle a été ouverte la cluse. Cette dernière assise sert elle-même de base à la formation où l'on trouve des coquilles de la craie blanche.

3° Sous le château d'Entremont où le Guier coupe le prolongement des couches de la vallée, la formation à fossiles de la craie blanche est positivement intercalée entre des assises à fossiles néocomiens. On remarque qu'il n'y a aucune symétrie dans la disposition des couches, ce qui exclut la supposition d'un plissement.

On voit par ce court résumé que l'association des coquilles de la craie blanche à celle du terrain néocomien n'a pas été conclue d'un fait unique qui, par son isolement, inspirerait toujours de la défiance. Elle résulte de plusieurs observations indépendantes et toutes concordantes entre elles. C'est à ce signe que l'on reconnaît la vérité en géologie.

GRUE ROULANTE A VAPEUR.

Par M. QUILLACQ, constructeur à Anzin (Nord).

Ces grues (Pl. I, *fig.* 3 à 7) pèsent 10.500 kilogrammes y compris la plate-forme et les roues. Leur prix est de 10.000 francs.

Elles peuvent soulever un poids de 3.000 kil. ; mais actuellement l'une d'elles sert à élever et à décharger, à 5 mètres de hauteur, des caisses contenant 12 hectolitres de charbon.

Cette grue élève et décharge quatorze de ces caisses dans l'espace de douze minutes.

Cet appareil paraît destiné à rendre de grands services aux sociétés houillères pour le chargement et le déchargement de la houille dans les gares et sur les rivages.

Le tableau ci-contre donne le détail du poids des diverses pièces composant ces machines.

Détail des poids des diverses pièces.

DÉNOMINATION DES PIÈCES.	FONTE.		FER.		BRONZE.	
	kil.	gr.	kil.	gr.	kil.	gr.
1 Plate-forme, 2 essieux, 4 roues calées, 4 plaques de garde avec paliers et coussinets.	3.941	»	305	»	6	»
8 Tirants pour plaque de garde.	»	»	7	»	»	»
2 Entretoises pour plaque de garde.	»	»	11	»	»	»
2 Arcs-boutants pour le tablier	»	»	11	»	»	»
4 Griffes avec 16 boulons d'articulation, rondelles et goupilles, et 4 bielles pour fixer le chariot sur les rails.	»	»	97	50	»	»
4 Chapes avec écrous.	»	»	18	»	»	»
1 Chaudière avec portes de fourneau, pentures, porte de trou d'homme, pattes, boulons, vis, tubulure de soupape de sûreté.	14	»	1.737	»	»	»
1 Pivot et frette	1.018	»	7	»	»	»
2 Chapeaux de palier de tambour.	16	»	»	»	»	»
2 Chapeaux de palier d'arbre moteur. . . .	12	»	»	»	»	»
8 Boulons et écrous pour arbre moteur. . .	»	»	11	»	»	»
8 Demi-coussinets pour arbre moteur. . . .	»	»	»	»	13	»
1 Bâti	307	»	»	»	»	»
1 Bâti	317	»	»	»	»	»
1 Collier du bas pour réunir les bâtis. . . .	157	»	»	»	»	»
1 Collier du haut	127	»	»	»	»	»
1 Tambour et arbre.	147	»	40	500	»	»
1 Arbre coudé et 3 poulies d'excentrique. .	24	»	43	»	»	»
1 Cylindre, boulons et prisonniers.	97	»	8	»	»	»
1 Couvercle de boîte à vapeur et 10 boulons.	9	»	3	»	»	»
1 Boîte d'admission avec griffe, tige, calfat, prisonniers et écrous.	9	600	1	400	1	»
1 Tiroir d'admission.	»	500	»	»	»	»
1 Calfat de couvercle de cylindre et garniture.	3	200	»	»	»	300
1 Couvercle de cylindre prisonnier, écrous et garniture	19	400	»	300	»	300
1 Support guide de tige de tiroir avec chapeau, boulons, écrous	8	200	»	800	»	»
1 Support de guide de tige de piston, garniture et boulons	23	»	»	700	»	300
1 Couvercle de tige de tiroir, prisonniers et écrous	6	800	»	200	»	»
1 Calfat pour tige de tiroir, prisonniers et écrous.	1	»	»	»	»	»
1 Fond de cylindre.	16	»	»	»	»	»
1 Graisseur (robinet) de cylindre et manche.	»	»	»	»	1	»
1 Tiroir de distribution.	3	»	»	»	»	»
1 Cadre et tige de cadre	»	»	2	»	»	»
1 Pompe alimentaire, boulons, prisonniers, écrous, bouchon et garniture	17	600	2	»	»	400
1 Calfat et garniture de pompe.	3	700	»	»	»	300
1 Pignon, bague, etc.	»	»	17	»	»	»
1 Piston.	16	»	»	»	»	»
1 Tige de piston et rondelle	»	»	5	»	»	»
1 Boulon de bas de flèche de grue, rondelle et goupille.	»	»	25	»	»	»
A reporter.	6.314	»	2.353	400	22	600

DÉNOMINATION DES PIÈCES.	FONTE.		FER.		BRONZE.	
	kil.	gr.	kil.	gr.	kil.	gr.
Report	6.314	»	2.353	400	22	600
1 Arbre et levier de changement de marche avec rondelle, goupille, poignée.	»	»	13	»	»	»
1 Axe de pivot avec grain d'acier et écrou (acier 2 kilog.).	»	»	9	»	»	»
1 Levier de frein.	»	»	7	»	»	»
2 Manivelles	»	»	8	»	»	»
1 Levier d'admission, poignées, boulons, goupilles.	»	»	3	»	»	»
1 Tige de piston de pompe alimentaire. . .	»	»	4	500	»	»
1 Traverse de piston de cylindre et clavette.	»	»	4	500	»	»
1 *Guide*.	4	500	»	»	»	»
1 Boulon avec écrou et rondelle pour frein	»	»	3	500	»	»
2 Leviers de soupapes de sûreté.	»	»	2	»	»	»
2 Soupapes de sûreté	»	»	»	»	»	500
1 Couvercle de soupapes de sûreté avec 4 supports, boulons et 2 siéges de soupape.	6	300	1	100	»	600
2 Clavettes d'engrenage pour roue de volant.	»	»	»	800	»	»
2 Robinets de jauge pour la chaudière. . .	»	»	»	»	»	800
1 Soupape d'alimentation et vis.	»	»	»	300	2	700
1 *Id.* avec clapet et bouchon.	»	»	»	»	4	500
1 Robinet d'alimentation se fixant sur la bâche et boulons	»	»	»	300	2	700
2 Poids de soupape de sûreté	7	»	»	»	»	»
1 Bielle de tiroir d'admission, boulons, rondelles et goupilles	»	»	1	»	»	»
2 Barres d'excentrique avec boulons, clavettes et goupilles.	»	»	5	»	»	»
2 Colliers d'excentriques avec boulons et écrous	13	200	»	800	»	»
4 Boulons d'assemblage des bâtis	»	»	34	»	»	»
1 Frein avec boulons et goupilles.	»	»	12	»	»	»
1 *Barre d'excentrique de* pompe alimentaire avec *goupille*, boulons et clavettes . . .	»	»	2	500	»	»
1 *Collier* d'excentrique de pompe alimentaire et boulons	6	600	»	400	»	»
1 Guide de tige de tiroir de distribution avec boulons, rondelles et goupilles.	»	»	2	»	»	»
1 Coulisse.	»	»	2	500	»	»
1 Coulisseau de coulisse.	»	»	»	500	»	»
1 Levier de changement de marche avec clavette.	»	»	2	»	»	»
2 *Bielles* de suspension avec boulons, rondelles et goupilles.	»	»	4	»	»	»
2 Tuyaux d'alimentation, boulons et brides.	»	»	5	500	3	»
2 *Id.* d'échappement *id.*	»	»	5	»	12	»
1 *Id.* de prise de vapeur, boulons et brides.	»	»	2	800	5	700
1 Roue à dents.	285	»	»	»	»	»
1 Volant	300	»	»	»	»	»
1 Pied de flèche.	115	»	»	»	»	»
1 *Bielle* motrice.	»	»	13	»	»	»
2 Demi coussinets de tête de bielle.	»	»	»	»	4	»
2 Boulons, écrous pour tête de bielle. . . .	»	»	2	»	»	»
A reporter.	7.050	600	2.505	400	58	800

DÉNOMINATION DES PIÈCES.	FONTE.		FER.		BRONZE.	
	kil.	gr.	kil.	gr.	kil.	gr.
Report.	7.050	600	2.505	400	58	800
1 Chapeau de bielle.	»	»	1	500	»	»
4 Demi-coussinets de fourche de bielle. . .	»	»	»	»	3	»
4 Boulons *id.* . . .	»	»	2	»	»	»
2 Chapeaux *id.* . . .	»	»	1	»	»	»
2 Tôles pour flèches et plaques.	»	»	294	»	»	»
166 Rivets *id.*	»	»	9	900	»	»
1 Poulie de flèche.	20	»	»	»	»	»
1 Boulon et rondelle pour flèche.	»	»	5	500	»	»
1 Contre-poids avec boulon et écrou	197	»	1	»	»	»
1 Chaîne et crochet	»	»	148	»	»	»
1 Grille de fourneau.	55	»	»	»	»	»
2 Tirants de flèche	»	»	155	500	»	»
Totaux.	7.323	600	3.123	800	61	800

Fonte.	7.323k,600
Fer.	3.123 ,800
Bronze.	61 ,800
Acier.	2 »
	10.511k,200

SUR UN PROCÉDÉ USITÉ EN FRANCE

POUR LE SOUDAGE DE LA FONTE.

Par M. MEUGY, ingénieur en chef des mines.

J'ai vu pratiquer à l'usine de Tamaris, près d'Alais, un procédé assez ingénieux, imaginé il y a quelque temps par un ouvrier belge, pour le soudage de la fonte.

Il m'a paru utile d'en présenter une courte description.

Ce procédé permet de réparer un cylindre lamineur, par exemple, ou un arbre de couche brisé par accident, et de ne plus rejeter ces pièces comme hors de service en les reléguant parmi les vieilles fontes. Il consiste à réchauffer fortement la pièce cassée au *moyen d'un feu de coke*, puis à répandre dans un *moule posé* par-dessus de la fonte bien chaude, à laquelle on donne issue à l'extérieur jusqu'à ce que la surface à souder commence à se liquéfier. Alors on ferme le trou de dégorgement avec un tampon d'argile, et la fonte remplit le moule qu'on a eu soin de faire assez grand pour que la forme primitive de la pièce à ressouder pût être rétablie autour.

Je vais donner quelques détails sur l'opération à laquelle j'ai assisté. Il s'agissait de réparer un cylindre qui s'était cassé pendant le laminage et auquel manquaient une cannelure et un tourillon. Au moment de mon arrivée, le feu de coke marchait activement. Il

brûlait dans une grille carrée qui enveloppait l'extrémité du cylindre enterré verticalement, et qui renfermait environ 100 kil. de coke. Ce premier réchauffage dure une heure et demie.

A un moment donné, on détruit ce brasier en écartant rapidement le combustible qu'on jette sur le sol de l'usine et qu'on éteint par des aspersions d'eau répétées.

On découvre ainsi le haut du cylindre qui est chauffé au rouge, et l'on s'empresse de l'entourer d'un châssis dans lequel on tasse rapidement du sable de moulage.

Après avoir entièrement rempli le châssis, nivelé le sable avec un racloir et approprié, à l'aide d'un soufflet, la surface à souder, on place par-dessus un moule tout préparé d'avance qui présente un vide intérieur ayant la forme d'une espèce de cône tronqué dont les bases sont de diamètres un peu plus grands que ceux du cordon à ajouter (Pl. I, *fig.* 8).

Ce moule porte un trou de coulée ou de dégorgement qui correspond à une rainure extérieure aboutissant à des rigoles destinées à recevoir la fonte, celle-ci devant avoir préalablement pour effet de chauffer jusqu'au ramollissement et à la fusion la partie supérieure du cylindre.

On amène donc, au moyen de la grue, une grande chaudière qui renferme environ 500 à 600 kil. de fonte, et l'on verse d'un peu haut. Des étincelles, formées par de petites gouttelettes métalliques qui s'oxydent à l'air, jaillissent en gerbe autour du moule, et la fonte s'écoule et remplit les rigoles extérieures, où on la recueillera plus tard sous forme de gueuses.

Le chef qui dirige l'opération et qui sonde à chaque instant la surface de la pièce à souder avec une tige en fer, reconnaît, par la hauteur de l'anneau qui s'y at-

tache, quand la surface du cylindre commence à se fondre et lorsque l'épreuve qu'il rapporte à l'extrémité de sa tige lui indique que la vieille fonte est entrée en fusion sur 3 centimètres environ d'épaisseur, ce qui arrive après quatre ou cinq minutes quand on a versé 3 à 400 kil. de fonte, il juge le moment opportun d'arrêter l'écoulement de la fonte au dehors. A cet effet, il tamponne le trou de dégorgement, tandis qu'on continue de verser la fonte jusqu'à ce que le moule soit rempli.

Cela fait, on enlève avec la grue un deuxième moule qui porte un vide intérieur cylindrique représentant le tourillon du cylindre. Le châssis qui le renferme s'adapte parfaitement au précédent au moyen de goujons qui entrent dans des brides correspondantes. Après avoir luté le joint avec un peu d'argile, on verse de nouveau la fonte dans ce moule.

Enfin, on couronne le tout par un dernier moule également cylindrique, et la fonte dont on le remplit forme une *masselotte* qui sera finalement supprimée, mais qui agit utilement par sa pression et consolide la *soudure en liant plus* intimement la fonte neuve avec la *vieille fonte.*

Tel est le résumé de l'opération qu'il faut, du reste, conduire rapidement. Elle ne doit pas durer plus d'un quart d'heure, sans compter le temps pendant lequel brûle le feu de coke (1 heure 1/2). Dix ouvriers suffisent pour l'exécuter.

Il ne reste plus ensuite qu'à laisser refroidir et à livrer au tour le cylindre ressoudé pour qu'on y creuse les cannelures et qu'on lui donne la forme convenable.

Il est facile de se rendre compte des avantages que présente ce procédé au point de vue économique.

Un cylindre lamineur qui pèse 1.100 kil. revient

tout fini à 616 fr. Mis au rebut, il ne vaut plus que 152 fr. comme vieille fonte. C'est donc une perte de 484 fr.

Si on le ressoude, on dépense :

	fr.
1° 100 kil. de coke à 3 francs.	3.00
2° Main-d'œuvre (10 ouvriers pendant 2 heures, à 0f,35 l'heure).	7.00
3° Moulage (1 journée d'ouvrier à 5f,50 et 1 journée de manœuvre à 2 francs.	7,50
4° 350 kil. de fonte employée à liquéfier la surface de la pièce à ressouder (2 fr. par 100 kil. pour la dépense en coke et en main-d'œuvre). Cette fonte peut être reportée au cubilot.	7,00
5° Déchet de cette fonte refondue (5 p. 100, soit 17k,5 à 12 fr. les 100 kil.)	2,10
6° On a moulé environ 500 kil. de fonte. Il doit rester sur le cylindre 300 kil. qui, tournés, donnent lieu à une dépense de 28 francs par 100 kil., soit . . .	84.00
7° Enfin, les 200 kil. de masselotte qui doivent être refondus coûtent aussi 2 francs par 100 kil. de coke et de main-d'œuvre	4,00
8° Plus le déchet à la refonte (5 p. 100, soit 10 kil. à 12 francs les 100 kil.)	1,20
Total.	115,80

On voit donc qu'en ressoudant le cylindre, la perte n'est plus que de 115f,80, soit 116 fr. D'où il résulte que l'emploi du procédé donne, dans le cas dont il s'agit, une économie de 484-116 ou 368 fr.

DÉTERMINATION

DU COEFFICIENT D'ÉLASTICITÉ DE L'ALUMINIUM.

Par MM. le général MORIN et TRESCA.

(Extrait des *Annales du Conservatoire des arts et métiers*, n° 2.)

Le journal polytechnique de Dingler a rendu compte des expériences faites par M. de Burg sur la ténacité de l'aluminium et du bronze que l'on obtient en alliant 0,90 de cuivre avec 0,10 d'aluminium, alliage dont les propriétés sont très-remarquables et qui se forge très-facilement. Ces propriétés sont si manifestes qu'on a songé à l'employer à la fabrication des canons, et l'on sait que la première pièce en bronze d'aluminium a été fondue dans l'usine de M. Morin à Nanterre, dans le courant du mois de mars dernier.

M. de Burg n'a examiné que la résistance à la rupture, et il a trouvé des chiffres assez variables, ainsi qu'on peut en juger par les indications suivantes :

En opérant sur plusieurs tiges en aluminium fondu, la rupture s'est produite à une charge par millimètre quarré de $10^{k},96$;

Avec un prisme fortement martelé à froid, la résistance s'est élevée à $20^{k},28$.

Quant au bronze d'aluminium, il a résisté jusqu'à la charge de $64^{k},58$ par millimètre quarré, ce qui est à peu près la charge de rupture des fers très-résistants.

Ces indications n'étant pas suffisantes pour guider les constructeurs dans l'emploi qu'ils pourraient avoir à faire de l'aluminium, nous avons fait au Conservatoire quelques expériences pour déterminer le coefficient d'élasticité de ce métal.

A cet effet, nous avons opéré sur une petite barre simplement fondue qui nous a été donnée par M. Christofle, et sur un mètre parfaitement dressé et poli qui avait été remis dans ce but par M. W. Martin.

Les résultats des deux essais de flexion qui ont été faits sont

tellement concordants que nous les indiquerons en détail pour les deux barres.

Tableau des essais faits sur une règle d'aluminium de 0m,01125 sur 0m,01125.

(La distance entre les points d'appuis étant de 2C = 0m,256.)

Charges au milieu.	Flexions observées en millimètres.	Flexions rapportées à une charge de 10 kil.
5.	0,22	0,440
10.	0,38	0,380
15.	0,54	0,360
20.	0,76	0,380
25.	1,06	0,424
30.	1,28	0,424
35.	1,64	0,468
40.	2,46	0,610

On voit que les flexions sont restées sensiblement proportionnelles aux charges jusqu'à celle de 1mm,28, et si l'on fait la moyenne des chiffres jusqu'à cette limite, on trouve que la flexion moyenne pour la charge de 10 kil. est de 1mm,401.

Le calcul du moment d'inertie donne

$$I = 0,0000000132$$

et l'application de la formule ordinaire conduit à

$$E = \frac{PC^3}{3fI} = \frac{5 \times \overline{0,128}^3}{3 \times 0,000401 \times 0,0000000132} = 6.603.000.000 \text{ kil.}$$

Au delà de la charge de 30 kil., les flexions ont augmenté plus rapidement que les charges, d'où il faut conclure que l'élasticité commençait à être altérée. Il convient donc de considérer la charge de 30 kil. comme un maximum, et elle correspond à un allongement par mètre exprimé par

$$i' = \frac{PCv'}{EI} = \frac{15 \times 0,128 \times 0,0056}{EI} = \frac{0,010752}{8,754} = 0^m,00123,$$

et qui serait obtenu en agissant par traction par une charge directe

$$R = Ei' = 8.157.360 \text{ kil.}$$

Ce qui montre que, dans ces conditions, l'aluminium ne doit pas être soumis à plus de 8,15 kilog. par millimètre quarré de section transversale.

Tableau des essais faits sur une barre d'aluminium de 0,036 de hauteur sur 0,0042 de largeur.

(Distance entre les appuis $2C = 1^m,00$.)

Charges au milieu.		Flexions au milieu en millimètres.		Flexions rapportées à une charge uniforme de 10 kil.
2,83	....	0,56	....	1,98
5,66	....	0,96	....	1,70
8,49	....	1,56	....	1,84
11,32	....	2,08	....	1,83
14,15	....	2,6	....	1,85
16,98	....	3,26	....	1,91
19,81	....	3,66	....	1,80
			Moyenne......	1,846

On calcule de même le moment d'inertie

$$I = \frac{ab^3}{12} = \frac{0,0042 \times \overline{0,036}^3}{12} = 0,000001633,$$

et par suite

$$E = \frac{PC^3}{3fI} = \frac{5 \times \overline{0,50}^3}{3 \times 0,001846 \times 0,000001633} = 6.911.000.000 \text{ kil.}$$

Dans cette expérience, rien n'indique que l'élasticité du métal *ait été* altérée, et nous retrouvons un chiffre presque identique à *celui qui résulte* du premier essai. On peut donc admettre que l'aluminium a pour coefficient d'élasticité 6.757.000.000 kil., nombre que l'on obtient en prenant la moyenne des deux déterminations qui précèdent.

Le coefficient d'élasticité des meilleurs fers étant

$$E = 20.000.000.000,$$

on voit que celui de l'aluminium en est environ le tiers; mais l'élasticité paraît s'altérer moins rapidement pour ce dernier métal et seulement par une charge de 8 kil. par millimètre quarré, alors qu'on doit compter 20 kil. pour le bon fer. La densité de l'aluminium étant 2,5, tandis que celle du fer est 7,7, on voit qu'à égalité de poids et non pas à égalité de volume, l'aluminium serait aussi résistant que le fer.

C'est là une conclusion générale qui pourra servir de première règle dans la construction.

Nous espérons qu'il nous sera possible de donner prochainement des indications analogues en ce qui concerne la résistance du bronze d'aluminium.

MINISTÈRE DE L'AGRICULTURE, DU COMMERCE ET DES TRAVAUX PUBLICS.

BUREAU DE STATISTIQUE.

RECETTES, DIVISÉES EN ANCIENS ET NOUVEAUX RÉSEAUX, DES CHEMINS DE FER FRANÇAIS PENDANT LE 3e TRIMESTRE DE 1860.

Recettes de l'exploitation des Chemins de fer fran

NOMS DES CHEMINS.	1860 LONGUEUR totale exploitée au 30 septembre.	1860 LONGUEUR moyenne exploitée pendant les 3 premiers trim.	1860 RECETTES 1er trimestre.	1860 RECETTES 2e trimestre.	1860 RECETTES 3e trimestre.	1859 LONGUEUR totale exploitée au 30 septembre.	1859 LONGUEUR moyenne exploitée pendant les 3 premiers trim.	1859 RECETTES 1er trimestre.	1859 RECETTES 2e trimestre.	1859 RECETTES 3e trimes
Anc										
	kil.	kil.	fr.	fr.	fr.	kil.	kil.	fr.	fr.	fr.
Nord	967	967	14.160.026	14.226.383	15.927.439	966	946	12.713.986	13.145.105	15.051
Est	954	954	9.745.572	11.169.315	12 878.074	954	925	9.274.414	10.163.645	11.251
Ouest	900	900	10.020.500	11.857.495	13.474.019	900	900	9.582.136	11.299.613	13.324
Orléans	1.472	1.472	14.324.332	16 364 633	17.991.104	1.472	1.472	14.419.929	16.439.899	16.768
Paris-Méditerranée	1,411	1.411	21.495.032	23.866.334	27.011.650	1.411	1.388	20.755.260	27.821.254	25.965
Lyon à Genève	237	237	1.270.355	1.587.380	2.062.447	232	230	1.056.437	1.724.275	1.997
Midi	794	794	4.924.958	5.475.009	6.332.959	794	794	4.295.069	5.250.406	5.433
Ceinture	17	17	444.649	400.035	394 379	17	17	392.212	341.566	335
Graissessac à Béziers	51	51	68.753	64.666	81.276	51	51	62.173	88.725	82
Bessèges à Alais	32	32	258.130	246.275	275.846	32	32	281.698	279.847	271
Anzin à Somain	19	19	95.399	90.405	95.831	19	19	69.949	66.332	85
Carmaux à Albi	15	15	52.395	53.967	39.394	15	15	46.639	47.245	[illegible]
Totaux et moyennes.	6.869	6.869	76.860.101	85.401.897	96.564.418	6.863	6.789	72.949.902	86.667.912	90.558
Nouve										
Nord	14	6	»	7.083	30.844	»	»	»	»	»
Est	726	722	4.186.254	4.293.648	4.655.318	697	697	4.171.492	4.313.240	4.603
Ardennes	164	164	788.235	871.402	989.867	164	155	702.135	788.613	872
Ouest (1)	312	304	862.615	1.072.773	1.241.513	287	282	566.515	858.771	1.017
Orléans	431	363	891.367	1.133.095	1.203.829	271	271	540.423	689.735	778
Paris-Méditerranée	526	476	4.058.328	4.105.765	5.018.763	464	459	3.169.062	4.209.246	4.211
Dauphiné	129	129	522.031	800.797	651.558	129	129	465.184	681.723	729
Midi	99	99	105.889	292.483	164.061	99	8	»	»	36
Totaux et moyennes.	2.401	2.263	11.414.719	12.299.358	14.242.414	2.111	2.001	9.614.811	11.541.328	12.305
RÉCA										
Ancien réseau	6.869	6.869	76.860.101	85.401.897	96.564.418	6.863	6.789	72.949.902	86.667.912	90.598
Nouveau réseau	2.401	2.263	11.414.719	12.299.385	14.242.414	2.111	2.001	9.614.811	11.541.328	12.305
Ensemble	9.270	9.132	88.274.820	97.701.282	110.806.832	8.974	8.790	82.564.713	98.209.240	102.903

(1) Y compris 294 kilomètres pour la section de Caen à Cherbourg et les embranchements du Mans à Mézidon, de Couliboeuf à Falaise et de Lison à Saint-Lô qui feront partie de l'ancien réseau à partir du 1er janvier 1865.

…ois premiers trimestres des Années 1860 et 1859.

TOTAL des … iers trimestres.		DIFFÉRENCE en plus.		PAR KILOMÈTRE, RECETTE totale		DIFFÉRENCE de 1860 sur 1859. totale		pour cent.	
…60.	1859.	1860.	1859.	1860.	1859.	en plus.	en moins.	en plus.	en moins.
…ien									
…k.	fr.	fr.	fr.	fr.	fr.	fr.	fr.		
…3.148	40.910.129	3.403.719	»	45.826	43.245	2.581	»	5,97	»
…2.961	30.689.127	3.103.834	»	35.422	33.177	2.245	»	6,77	»
…2.014	34.205.832	1.146.182	»	39.280	38.006	1.274	»	3,35	»
…0.869	47.628,801	1.051.268	»	33.071	32.357	714	»	2,21	»
…3.018	74.541.646	»	2.168.630	51.292	53.704	»	2.412	»	4,49
…0.182	4.778.230	141.952	»	20.760	20.775	»	15	»	0,07
…2.926	14.973.673	1.754.253	»	21.074	18.865	2.209	»	11,71	»
…9.063	1.068.892	170.171	»	72.886	62.876	10.010	»	15,92	»
…4.695	233.198	»	18.503	4.210	4.573	»	363	»	7,94
…0.251	832.664	»	52.413	24.383	26.021	»	1.636	»	6,29
…1.635	221.803	59.742	»	14.823	11.679	3.144	»	26,92	»
…5.756	127.072	18.684	»	9.717	8.471	1.246	»	14,70	»
…5.416	250.216.157	10.849 805	2.239.546	37.680	36.856	824	»	2,24	»
		+ 8.610.259							
…au.									
…7.927	»	37.927	»	6.321	»	»	»	»	»
…6.728	13.088.365	46.855	»	18.193	18.788	»	585	»	3,12
…9.504	2.363.594	285.910	»	16.156	15.249	907	»	5,95	»
…6.901	2.468.462	708.439	»	10.450	8.753	1.697	»	19,39	»
…8.291	2.008.764	1.219.527	»	8.893	7.412	1.481	»	19,98	»
…2.856	11.620.218	1.562.638	»	27.695	25.316	2 379	»	9,40	»
…3.366	1.876.339	107.047	»	15.375	14.545	830	»	5,71	»
…2.433	36.007	526.426	»	5.681	4.501	1.180	»	26,22	»
…4.518	33.461.749	4.494.769	»	16.773	16.723	50	»	0,30	»
…LATION.									
…6.416	250.216.157	8.610.259	»	37.680	36.856	824	»	2,24	»
…4.518	33.461.749	4.494.760	»	16.773	16.723	50	»	0,30	»
(a) …2,934	(a) 283,687,906	13.105.028	»	32.499	32.273	226	»	0.70	»

…a. Les comptes des 3 premiers trim. de 1860 n'étant pas encore définitivement arrêtés, les …s qui se rapportent à cette période peuvent être susceptibles de quelques modifications.

OBSERVATIONS.

Les sections ouvertes du 1[er] octobre 1859 au 30 septembre 1860 ont une étendue de 296 kilom., savoir :

1° ANCIEN RÉSEAU.

	k.	kil.
Nord.		
Raccordement de Maubeuge, 1[er] janv. 1860.		1
Lyon à Genève.		
La Guillotière aux Brotteaux, 24 nov. 1859.		5
Total pour l'ancien réseau.		6

2° NOUVEAU RÉSEAU.

	k.	kil.
Nord.		
Paris à Sevran, 3 juin 1860.		14
Est.		
Port d'atelier à Aillevillers, Plombières, 4 février 1860.		29
Ouest.		
Coulibœuf à Falaise, 1[er] novembre 1859.	7	25
Lison à Saint-Lô, 1[er] mai 1860.	18	
Orléans.		
Montluçon à Moulins et embranchement, 7 nov. 1859.	83	160
Périgueux à Brives, 15 septembre 1860.	72	
Paris à Lyon et à la Méditerranée.		
Pontarlier à la frontière suisse, 24 juillet 1860. .	14	68
Moret à Montargis, 13 août 1860	54	
Total pour le nouveau réseau .		290
Ensemble		296
Longueur exploitée au 30 septembre 1859.		8.974
Longueur totale exploitée au 30 septembre 1860.		9.270

(a) Déduction faite des détaxes, et non compris l'impôt du dixième qui s'élève pour les 3 premiers trim. :
de 1860 à. . . 15.007.966 fr.
de 1859 à. . . 15.853.640

DE LA MÉTALLURGIE DU PLATINE

ET DES MÉTAUX QUI L'ACCOMPAGNENT.

Par M. H. SAINTE-CLAIRE DEVILLE ET H. DEBRAY.

Nous avons exposé, dans le seizième volume de ces *Annales*, un projet de métallurgie nouvelle du platine fondée sur l'emploi des moyens de la voie sèche ; notre travail était fini et publié, lorsque le gouvernement russe, par l'intermédiaire de M. Jacobi, conseiller d'État et membre de l'Académie des Sciences de Saint-Pétersbourg, nous proposa d'étudier, sur une échelle relativement assez grande, toute la partie pratique de la question que le manque de matériaux nous avait obligés de négliger momentanément. Nous avons accepté cette mission avec empressement, en nous imposant à nous-mêmes la condition de diriger nos travaux de telle manière qu'ils pussent être adaptés le plus complétement possible aux besoins du gouvernement russe. La monnaie de Russie reçoit en effet chaque année des quantités de minerai de platine de l'Oural assez variables, qu'elle traite elle-même par un procédé qui sera bientôt décrit et qu'elle livre en ce moment au commerce sous forme de lingots.

Objet de ce mémoire.

Autrefois ce platine était converti en monnaie ; mais celle-ci a été retirée de la circulation pour des raisons qu'il serait utile de faire connaître, mais que nous ne pouvons détailler dans un recueil scientifique étranger

à l'économie politique. Qu'il nous suffise de dire que le métal de cette monnaie ayant été coté, quand on en a déterminé la valeur intrinsèque, à un taux très-élevé, lorsque la valeur commerciale du platine a diminué, on avait intérêt à faire entrer en Russie de fausses monnaies fabriquées d'ailleurs avec du métal pur, mais dont l'origine frauduleuse était par cela même impossible à déceler. Le gouvernement possède actuellement presque toute la masse métallique enlevée à la circulation.

Le minerai de platine de l'Oural a toujours été traité en Russie, comme ailleurs, par la voie humide : cette méthode a l'inconvénient de laisser sans emploi des résidus consistant principalement en osmiure d'iridium plus ou moins mélangé de sable, d'oxyde d'iridium et de platine non attaqué. L'administration russe en possède actuellement de grandes masses : elle en a extrait, par curiosité scientifique, une assez grande quantité d'oxyde d'iridium non purifié.

On s'expliquera donc l'origine des matériaux précieux qui ont été mis à notre disposition par M. le ministre des finances de la Russie, et que nous avons utilisés pour le travail que nous publions aujourd'hui.

A la date du 23 février 1860 nous avons reçu, par l'intermédiaire de M. Jacobi :

2 pouds ou 32 kil. de minerai de l'Oural ;

1 poud ou 16 kil. de platine démonétisé (roubles laminés) ;

½ poud ou 8 kil. d'iridium brut.

Nous possédions d'ailleurs, grâce à la libéralité du gouvernement russe et à la complaisance du général Samarski, chef du corps des mines, de nombreux échantillons des osmiures ou résidus de la fabrication du platine.

Enfin nous avons pu faire établir, au laboratoire de l'École normale, des fourneaux à réverbères et des gazomètres de grande dimension aux frais du gouvernement russe; les appareils ont été généreusement donnés à l'École normale après la cessation de nos travaux.

Nous avions donc tout ce qu'il fallait pour entreprendre en grand le travail qui nous était demandé et dont nous allons décrire les résultats dans l'ordre suivant, qui sera conservé dans ce mémoire : **Divisions de ce mémoire.**

1° Méthode par voie sèche pour traiter avec facilité et rapidité et en quantités illimitées le minerai de platine. Nous décrirons d'abord un premier procédé calqué sur la métallurgie de l'argent et que nous appellerons procédé *par coupellation*. Nous avons expérimenté, en outre, la fonte du minerai brut, qui donne immédiatement un alliage où le platine est prédominant et qui contient tous les métaux utiles du minerai : c'est le procédé par grillage et *fonte directe*.

2° Méthode pour la purification et la fonte des iridium bruts de la monnaie de Russie, toujours par voie sèche.

3° Méthode mixte pour la purification des minerais au moyen de l'eau régale, plus expéditive que la méthode actuelle, et qui se prête parfaitement à nos procédés de fusion pour obtenir le platine chimiquement pur.

4° Méthodes de fusion et de moulage, applicables à des quantités illimitées de platine pur ou allié, dans des appareils faciles à construire et d'un emploi industriel.

5° Procédés économiques de fabrication de l'oxygène. Dans ce chapitre nous exposerons les études que nous avons faites sur toutes les méthodes connues jus-

qu'ici et qui appartiennent à Scheele, à Berzelius, à M. Boussingault, et sur l'emploi d'un moyen nouveau fondé sur la décomposition par le feu du sulfate de zinc ou de l'acide sulfurique plus ou moins concentré.

CHAPITRE PREMIER.

TRAITEMENT DES MINERAIS DE L'OURAL.

Mines de platine de Russie.

« En 1819 (1), des orpailleurs de Neffjansk (entre Ekaterinbourg et Nijni-Tagilsk) recueillirent dans les lavages des sables aurifères des paillettes d'un métal blanc qu'ils appelèrent or blanc, à cause de sa grande pesanteur spécifique. Ils en rassemblèrent une certaine quantité qu'ils envoyèrent en 1822 à Ekaterinbourg pour en faire faire l'essai, qui ne conduisit cependant pas à sa constatation. Ce ne fut qu'en 1823 que M. Loubarsky, professeur au corps des mines, reconnut ces paillettes pour du platine. Depuis ce temps, l'attention se dirigea sur ce métal qui jusque-là n'avait été trouvé qu'en Amérique. A Neffjansk même, on ne le rencontre qu'en petite quantité; mais le 28 août 1826, on découvrit à Nijni-Tagilsk, sur la pente occidentale de l'Oural, de très-riches gisements de sable platinifères contenant plus de 25 zolotniks de platine par 100 pouds de sable (1 gr. par 15 kil. 5), et qui font de ce district la contrée la plus riche en platine de l'univers. En effet, déjà dans le premier semestre après cette découverte, ces gisements donnèrent un produit de 5 pouds 10 livres (86 kil.) de minerai brut de platine, et en 1843 on en exploita environ 303 pouds (3.330 kil.). Les autres lavages de platine étant jusqu'à présent in-

(1) Ces détails sont extraits d'une brochure très-instructive publiée récemment par M. Jacobi sur le *Platine et son emploi comme monnaie*. Saint-Pétersbourg, 1860.

signifiants, on peut dire que Nijni-Tagilsk en a presque exclusivement le monopole. Depuis 1843, par des raisons dont nous parlerons plus tard, cette exploitation étant devenue très-restreinte ou ayant presque entièrement cessé, il n'y a aucun doute qu'elle sera reprise avec une nouvelle ardeur dès que de nouvelles voies s'ouvriront à un écoulement avantageux de ce métal précieux.

» Le platine se trouve ordinairement en paillettes ; on en a aussi trouvé, mais rarement, de grands morceaux, des pépites, comme on les appelle, de 10, 13 et même de 23 livres, non pas à de grandes profondeurs, mais immédiatement sous le gazon.

Exploitation en Russie.

» L'exploitation du platine, en Russie, est exactement connue par les tableaux publiés annuellement sur les produits minéralogiques du pays. De 1824 (où l'exploitation du platine a commencé) jusqu'à 1858, la production totale a été de 2.105 pouds 37 livres 43 zolotnicks 69 dol. (34.495 kil.), ou en moyenne 60 pouds 7 livres (1.000 kil. environ) par an. La plus forte exploitation eut lieu en 1843, où elle est montée à 202 pouds 54 livres 16 zol. 50 dol. (3.331 kil.) En comptant la période de 1828 jusqu'à 1845, où l'exploitation a été la plus active, et en y ajoutant celle de 1853, où elle était de même assez considérable, on trouve pour la production, pendant ces dix-neuf ans, un total de 1.980 pouds 11 liv. 71 zol. 14 dol. (32.437 kil.), ou en moyenne 104 pouds 10 liv. (1.707 kil.), dont 872 pouds 30 liv. 75 zol. 27 dol. (14.296 kil.) ont été employés pour en frapper des espèces monnayées représentant une valeur de 4.142.547 r. ou de 16.570.188 fr. En 1845, le gouvernement a cessé de faire frapper la monnaie de platine, et l'exploitation en est devenue fort restreinte.

» On voit par ce résumé que, sans faire beaucoup d'efforts, la production annuelle du platine en Russie peut être portée à 100 pouds ou 1.600 kil.; de manière qu'en s'arrêtant au chiffre mentionné plus haut de 1.200 kil., la production annuelle de tous les autres pays n'est que des trois quarts de ce que la Russie peut fournir à elle seule avec facilité. »

§ 1er. *Essais des minerais.*

Composition des minerais.

Le minerai ordinaire de la monnaie de Russie présente l'aspect et la composition de celui qui a été déjà décrit dans notre précédent mémoire. Le nombre des pépites de 3 à 4 grammes est très-peu considérable; ce qui domine, ce sont des grains d'un millimètre cube environ. Il donne à l'analyse les nombres suivants :

Platine	76,4
Iridium	4,3
Rhodium	0,3
Palladium.	1,4
Or.	0,4
Cuivre	4,1
Fer.	11,7
Osmiure d'iridium	0,5
Sable	1,4
	100,5

Procédé mécanique de purification.

Quand on examine ce minerai avec attention, on voit bien vite que les grains de sable qui on résisté au lavage sont très-petits, de sorte qu'en le passant au travers d'un tamis dont les mailles ont de 1 à 2 dixièmes de millimètre environ, on obtient un minerai très-riche en sable et qu'il est utile de traiter à part ou bien de laver à nouveau, ce qui est encore préférable.

Cependant on n'a pas ainsi enlevé tout le sable : on voit qu'il en reste une certaine quantité retenue dans l'intérieur même des grains, et qu'on extrait facilement en faisant passer le minerai d'abord sous le pilon et ensuite au travers de deux cribles et d'un tamis fin.

Ce travail préliminaire, qui n'est pas indispensable, nous a paru utile pour nous renseigner sur l'avantage d'une méthode de purification du minerai par procédés mécaniques, méthode très-facile et, quand on y ajoute le lavage, fructueuse par l'économie des réactifs.

Nous avons partagé ainsi notre minerai en trois portions :

	k.
N° 1. Minerai fin passé au tamis (1)	2.195
N° 2. Minerai criblé	26.135
N° 3. Minerai en pépites encore grosses. .	3.950
	32,280

Essai. Le n° 1 a été essayé en fondant 50 ou 100 grammes de minerai dans son poids de plomb et une fois et demie son poids de litharge. Le culot de plomb platinifère a été coupellé et rôti dans le moufle. On a *chauffé le platine* plombifère ainsi obtenu au chalumeau à gaz tonnants déjà décrit dans notre précédent mémoire, et on a obtenu un culot de platine allié d'iridium qui a été pesé.

Le n° 2 et le n° 3 ont été essayés par une méthode que nous n'avons pas encore décrite et que nous préférons à toutes les autres, parce qu'elle est très-sûre. On peut opérer sur 100 ou sur 50 grammes de minerai : nous supposerons qu'on agisse sur 100 grammes. On les mélange intimement avec 100 gram. Méthode nouvelle.

(1) Déduction faite de la fonte enlevée au mortier pendant la pulvérisation.

de galène (l'alquifoux des potiers) et on chauffe dans un petit creuset de bonne qualité jusqu'au rouge vif. A la masse qui s'est métallisée, parce que le fer du minerai a réduit la galène et s'est combiné avec le platine, du moins en partie, on ajoute 50 grammes de plomb pauvre et on chauffe un peu plus vivement encore. On obtient alors un alliage de platine et de plomb et une matte plombeuse ou sous-sulfure de plomb, qui doit attaquer les derniers grains de minerai qui ont échappé à la galène et qu'on amène au contact du bain sulfuré et à la surface au moyen d'une baguette en terre. On ne cesse de mêler ainsi les diverses couches de matières contenues dans le creuset que lorsqu'on ne sent plus aucune résistance provenant de grains non dissous. On doit tenir compte pourtant de la présence possible de quelques gros grains d'osmiure d'iridium, qui est inattaquable par la galène, et on en est averti par le fait même de leur résistance à toute dissolution. Le creuset peut être chauffé dans un fourneau alimenté d'air par un soufflet ou un ventilateur : la chaleur doit s'élever au moins jusqu'au point de fusion de l'or, et l'on peut dépasser même cette température sans aucun danger pour le creuset que la galène n'attaque et ne traverse pas du tout.

Au moment où nous avons amené l'opération, le creuset contient un alliage de plomb platinifère, une scorie composée de galène, de sulfures de fer et de cuivre. On découvre le creuset bien chaud et on y injecte de l'air au moyen d'un soufflet dont la buse assez longue est en fer. Il se produit un abondant dégagement d'acide sulfureux : le cuivre et le fer s'oxydent en donnant des *crasses*, le plomb se réduit et vient se mêler à l'alliage de platine. On interrompt l'insufflation toutes les fois que la chaleur baisse assez pour

que les crasses noircissent, on chauffe alors de nouveau et on recommence à souffler dans l'intérieur du creuset jusqu'à ce que toute odeur d'acide sulfureux ait disparu et que des litharges persistantes se forment. On ajoute alors 2 grammes de peroxyde de manganèse, une dizaine de grammes de verre, et on fond tout de manière à obtenir une scorie bien liquide contenant de l'oxyde de fer, de l'oxyde de cuivre, du protoxyde de manganèse, de la litharge, enfin les éléments du verre. En cassant le creuset on trouve un culot parfaitement réuni de plomb platinifère, et une scorie vitreuse qui doit être chargée d'oxyde de plomb si l'on a suffisamment prolongé l'oxydation dans le creuset. S'il reste encore de la galène non décomposée, la surface du culot est noirâtre, et il faudra prendre de grandes précautions dans les opérations suivantes.

Le plomb platinifère est une masse métallique dure, cassante et clivable, et à ce point semblable à du bismuth qu'on confondrait les deux substances si elles étaient placées l'une à côté de l'autre. Le plomb platinifère s'irise même très-vite au contact de l'air, et cette *oxydation si facile du* plomb tient manifestement à la tendance fortement électronégative du platine auquel il est allié. **Plomb platinifère.**

On coupelle le plomb platinifère à la température de l'or fondant. Pour cela on peut employer des appareils différents suivant la quantité des matières sur lesquelles on opère. Quand on a pris 50 ou 100 grammes de minerai, on n'obtient jamais au delà de 150 à 300 grammes de plomb platinifère. Alors on peut faire la coupellation dans le moufle d'un fourneau de coupelle ordinaire, et au moyen d'une coupelle d'os de 5 centimètres environ de diamètre. Cette coupelle est elle-même placée dans un grand têt rempli de cendre **Coupellation.**

d'os fortement tassée. Elle se gorge pendant l'opération, et comme la litharge fondue filtre très-facilement au travers de la matière de la coupelle, elle s'imbibe dans la cendre d'os du têt, et la surface du plomb en coupellation est constamment dépouillée de litharge. Nous avons toujours opéré au moyen du fourneau à moufle chauffé à la flamme et figuré dans la Pl. I (*fig.* 4) des *Annales des mines*, t. XVI (5ᵉ série).

Fusion. Au bout de quelques heures le plomb s'est oxydé et le platine se présente sous forme de mousse ou plutôt de choux-fleurs qui ne contiennent plus que quelques centièmes de plomb. On introduit cette matière dans le petit four en chaux de la *fig.* 8 (*loco citato*), et on le maintient en fusion avec le chalumeau à oxygène jusqu'à ce que toute vapeur de plomb et toute odeur d'osmium aient entièrement disparu de la flamme. On détache le culot de la chaux qui n'éprouve aucune altération dans cette circonstance, on réunit les petits globules de platine projetés sur la voûte du four, on les lave à l'acide chlorhydrique et on pèse. On a ainsi la teneur en platine et iridium ou rhodium du minerai.

Quelquefois il se forme, pendant la coupellation, à la surface du platine en choux-fleurs une poudre noire cristallisée, qui n'est autre chose que de l'iridiate de plomb : il faut introduire cette poudre en même temps que le platine plombifère dans le four en chaux où l'iridium se réduit et s'allie au platine pour former le culot métallique.

Exemple. Voici un exemple de ces essais pratiqués comme je viens de le décrire. On a pris :

Minerai tamisé et criblé (n° 2) (1)	100 gr.
Galène pulvérisée (alquifoux).	100
Plomb.	50
Après la fusion et l'oxydation au soufflet, on a ajouté manganèse de Giessen	2
Verre blanc ou cristal.	10
Le culot de plomb platinifère détaché d'une scorie vitreuse, contenant de l'oxyde de plomb pèse	178
Après la coupellation et le rôtissage, le platine plombifère pèse	93
Après fusion, platine iridifère.	82

En opérant ainsi sur les 2 pouds de minerai russe, on a obtenu :

	QUANTITÉ totale.	PLATINE contenu.	PLATINE pour 100.
	kil.	kil.	
N° 1. Minerai fin.	2.195	1.017	46.3
N° 2. Minerai criblé.	26.135	21.430	82.0
N° 3. Minerai en petites pépites.	3.950	3,358	85.0
Totaux et moyenne. . . .	32.280	25,805	80.0

La proportion moyenne de platine iridifère contenu dans le minerai calculée avec ces nombres est 80 p. 100.

Ce nombre concorde très-bien avec l'analyse citée plus haut, d'après laquelle on devrait en effet obtenir à peu près 80,5 p. 100 pour la somme des matières fixes et non oxydables renfermées dans le minerai.

(1) Si le minerai est pulvérisé un peu finement, l'attaque par la galène se fait avec une rapidité extrême, et même avec dégagement de chaleur à la température de fusion de la galène et au moment de sa réduction par le fer du minerai.

§ II. *Méthode de coupellation sur une échelle moyenne.*

Le mode d'essai que nous venons de décrire peut devenir un procédé de fabrication quand on n'opère que sur de petites quantités de platine. Nous l'avons expérimenté sur 3 ou 4 kil. de minerai qu'on pourrait porter à 10 kil. environ, sans rendre les opérations trop difficiles.

Traitement par la galène.

1° *Attaque.* — Le minerai brut passé au pilon pour broyer les plus gros fragments, et mélangé avec les quantités de galène et de plomb déjà mentionnées, est introduit dans un assez large creuset, chauffé et grillé comme nous l'avons dit, p. 77, 78 et 79. Dans ce creuset même, en opérant d'après cette méthode, on peut scorifier les oxydes à haute température et obtenir immédiatement le plomb platinifère destiné à la coupellation ; mais alors le creuset est presque toujours perdu : on peut le faire servir à d'autres opérations en adoptant les modifications suivantes. Au fur et à mesure que les crasses se forment à la surface du bain métallique, on les enlève avec une cuiller de fer, et on découvre la surface du bain jusqu'à ce qu'en prolongeant l'insufflation les fumées d'acide sulfureux disparaissent et que la production de la litharge devienne manifeste et permanente. On arrête alors brusquement l'opération pour éviter l'action destructive de la litharge sur les parois du creuset, et on coule en lingotières le plomb platinifère pour recommencer immédiatement une nouvelle opération. Quand on prévoit que le creuset ne pourra plus être employé, on scorifie les crasses par un bon coup de feu, et on retire du creuset un alliage contenant, en outre du plomb platinifère, tout l'osmiure d'iridium mélangé à la masse métallique.

Le plomb platinifère se coupellera par l'un des pro-

cédés qui vont être décrits. Quant aux crasses, il faut leur faire subir un traitement spécial qui les débarrasse de toutes les matières plombeuses et platinifères dont elles sont toujours imprégnées.

2° *Coupellation des plombs platinifères.*— Nous avons employé dans cette série de recherches deux sortes d'appareils applicables à des quantités de minerais qui ne surpassent pas beaucoup 5 à 6 kil. de matières traitées en même temps. Nous avons fait d'abord des coupellations au gaz de l'éclairage comme combustible brûlé par l'air des soufflets, puis des coupellations continues dans de petites coupelles perméables laissant passer la litharge par leurs pores au fur et à mesure qu'elle se forme par l'oxydation au contact de l'air. Nous allons donner la description de ces méthodes successivement; mais comme tout procédé métallurgique doit être accompagné d'un mode d'essai correspondant, nous commencerons par exposer nos moyens de coupellation appliqués d'abord à la détermination de la richesse des plombs platinifères que nous avons obtenus dans les opérations précédentes.

A. *Essai des plombs platinifères.* — On prend une coupelle d'os de la plus petite dimension et dont on diminue l'épaisseur au moyen d'une râpe grossière. Cette coupelle CC (Pl. III, *fig.* 2) est placée dans un trou cylindrique creusé dans un morceau de charbon de bois PP, de manière qu'elle y soit presque entièrement enfermée et qu'elle ait une inclinaison de 20 à 30° par rapport à l'horizon.

Chalumeau de coupellation.

On fait arriver dans cette coupelle la flamme oxydante d'un chalumeau à gaz dont le dessin est donné dans la *fig.* 3 de la Pl. III. Il se compose d'un tube à trois courbures HEFG, glissant en I dans un tube plus large, de façon qu'on puisse abaisser ou élever à vo-

lonté les deux branches verticales, mobiles également en K, de manière que la branche FG puisse se déplacer comme on voudra dans un plan vertical. Ce tube conduit du gaz de l'éclairage introduit par le robinet R jusqu'à son extrémité G où on l'enflamme.

Un tube plus petit BCD amène de l'air jusqu'à l'extrémité D sur lequel on ajuste des *bouts* de chalumeau à ouvertures variables. Une articulation en C lui permet de suivre tous les mouvements de la branche FG à laquelle il est fixé par un écrou L : un robinet *r* permet de graduer la vitesse de l'air à la sortie D. Cet air vient d'un soufflet ordinaire ou bien d'une trompe comme celle que nous décrirons un peu plus tard.

Conduite de l'opération. Pour coupeller, on lance d'abord le dard du chalumeau convenablement incliné jusqu'au centre de la coupelle : quand on l'a bien échauffée, on introduit peu à peu du plomb, et au moyen des deux robinets R et *r* et en faisant varier la distance MN, on obtient une flamme *en même temps* chaude et oxydante. La litharge, en même temps qu'elle se produit, s'écoule par une petite rainure pratiquée en I (*fig.* 2), et on ajoute du plomb peu à peu, au fur et à mesure que le bain diminue. A la fin de l'opération, la coupelle est assez chaude pour que le charbon s'enflamme tout autour d'elle. Cette combustion lente et la chaleur du chalumeau suffisent pour rougir toute l'épaisseur de la coupelle que la litharge alors traverse librement pour venir se réduire à l'état de plomb au contact du charbon. Le plomb se loge dans les fentes du charbon de bois au fur et à mesure qu'il s'en forme aux dépens de la litharge. La coupelle fait en réalité l'office d'un filtre qui laisse passer la litharge et retient le plomb platinifère.

Quand le bouton s'est solidifié, malgré la chaleur

qu'on rend maximum, on l'enlève, on le fond avec précaution au moyen du chalumeau à gaz tonnants (1) et on le pèse. Il faut s'assurer qu'aucune portion de plomb platinifère n'a pénétré la coupelle d'os ni qu'aucun globule de platine n'est resté adhérent à la chaux.

Avantages de cette méthode.

Cette méthode permet d'introduire successivement du plomb platinifère dans la coupelle d'os jusqu'à ce que le bouton de platine plombifère l'emplisse presque entièrement. On peut donc faire passer de grandes quantités de plomb dans une très-petite coupelle. Quand on opère sur 15 à 20 grammes de matières à la fois, il est bon d'avoir un jet de chalumeau assez large et assez puissant pour entretenir au rouge toutes les parties de la coupelle : il faut alors que le *bout* du chalumeau par où arrive l'air soit percé d'un trou qui ait environ 1 millimètre de diamètre.

Soufflerie.

Quand l'opération doit durer longtemps, il est préférable de substituer au soufflet le petit appareil ou trompe dont nous nous servons depuis longtemps au laboratoire de l'École normale et dont nous recommandons l'emploi aux chimistes pour souffler le verre et pour effectuer les recherches les plus délicates au chalumeau. En effet, on peut, avec la trompe que nous allons décrire, obtenir sans aucune peine un vent très-puissant ou un souffle tellement faible, qu'avec peu de gaz et de petites ouvertures de chalumeau on maintient quelques milligrammes d'étain fondu dans la flamme de réduction pendant plusieurs heures sans qu'il s'oxyde. En outre, notre petite trompe, qui est tout à fait calquée sur les appareils du même genre employés dans les Pyrénées, permet d'ob-

---

(1) Voir la description de cette opération dans les *Annales*, tome XVI, 5e série, pages 86 et 87.

tenir un jet continu et une régularité dans les qualités oxydantes ou réductrices de la flamme, très-précieuse pour toutes les opérations pyrognostiques. On conçoit qu'il est possible de donner à cet appareil des dispositions très-variables, suivant les quantités et la pression de l'eau qui alimente les réservoirs du laboratoire. Nous décrirons seulement la petite trompe dont nous nous servons habituellement, qui donne 600 litres à l'heure avec une pression de 20 à 30 centimètres d'eau. Cette trompe a été construite par M. Wiessnegg (1), dont le dévouement et l'habileté nous ont été bien utiles pour la disposition des appareils assez compliqués dont nous aurons encore à faire la description.

L'appareil figuré dans la Pl. I, *fig.* 1 et à l'échelle indiquée, est destiné à utiliser l'eau d'un réservoir placé à $2^m,50$ au-dessus du sol en donnant en maximum une pression de 1 mètre d'eau à l'air envoyé aux chalumeaux.

Trompe. Cette machine se compose à sa partie supérieure d'une boîte B (Pl. III, *fig.* 1) placée au niveau du réservoir qui fournit l'eau. Celle-ci entre par le tuyau E dans la boîte B.

Deux tubes de 1 centimètre de diamètre environ pénètrent dans la boîte, et peuvent être fermés en S par une soupape mobile au moyen des deux tringles RR qui traversent deux boîtes à cuir CC. En Z, ces tubes sont légèrement étranglés, et au-dessous de cet étranglement sont pratiquées de petites ouvertures de 3 milli-

(1) C'est le fils de cet honnête et intelligent constructeur qui a été longemps si utile à presque tous les chimistes et physiciens de Paris, et dont le désintéressement n'a reçu d'autre récompense pendant sa vie que l'estime et la reconnaissance de tous ceux qui ont profité de son habileté et de sa grande expérience.

mètres environ au nombre de sept à huit par où l'air pénétrera dans la trompe. Les tubes TT se rendent au fond d'un cylindre U qui pose sur le sol.

Le vase U, qui est en fer-blanc ou tôle plombée, présente en A une tubulure par laquelle l'air se rendra dans le laboratoire au moyen d'un tuyau de plomb ou de caoutchouc, sur le parcours duquel se rencontrera un robinet de sûreté destiné à laisser s'échapper la plus grande partie du vent lorsqu'on voudra opérer à de très-faibles pressions. Le tube en verre NN est un indicateur du niveau. Le robinet O laisse s'écouler la plus grande partie de l'eau qui arrive dans la trompe. On ouvre les robinets M et M' ou on les ferme, suivant qu'on veut avoir une pression de 30, de 60 ou de 90 centimètres d'eau, qui sont les distances verticales comptées depuis le niveau jusqu'au robinet qu'on laisse ouvert. En les fermant tous les deux, l'eau s'échappe en P, et si la trompe est bien réglée par l'écoulement en S et en O, la pression peut se mesurer par la distance verticale OP; c'est la pression maximum qu'on *peut obtenir* avec l'appareil que nous figurons. Sur le trajet de l'air et près du chalumeau se trouvent le robinet R qui permet, lorsqu'il est à demi ouvert, de laisser sortir une partie de l'air donné par la trompe (pour les essais au chalumeau), et une vessie en caoutchouc qui sert de régulateur et donne au vent une constance encore plus grande.

B. *Coupellation par le gaz.* — L'opération que nous avons tentée pour coupeller de 5 à 10 kil. de platine dissous dans le plomb, nous a donné des résultats assez intéressants pour que nous croyions utile de décrire des appareils qui ne pourraient servir que dans le cas d'une exploitation assez restreinte.

La coupelle employée (*fig.* 6, Pl. III) est un tronc de Coupelle.

cône (1) en tôle, fermé du côté de la petite base et rempli de cendres d'os fortement comprimées et battues par les procédés qu'emploient les laveurs de cendres. On y a creusé du côté de la grande base une petite sole CME de 12 à 15 centimètres de section. Les bords EL et CG ont une épaisseur de 3 centimètres. Le bord CG est un peu évidé en forme de gouttière pour donner issue à la litharge qu'on va produire dans la coupelle. Une petite voûte INK, faite avec un têt à rôtir fortement échancré en KI et surbaissé en N, recouvre la coupelle. En KI vont pénétrer, sous un angle de 45° environ, les flammes de trois chalumeaux D alimentés par le gaz de l'éclairage et le vent de deux petites buses amenant l'air de la soufflerie. Les flammes sortiront dans l'espace NG, qui est assez rétréci pour les forcer à lécher et à échauffer la gouttière placée en G et y maintenir en fusion la litharge qui va s'y rendre.

Marche de l'opération. Sur la sole CME on introduit peu à peu un lingot Q de plomb platinifère, après avoir allumé le gaz des chalumeaux. On chauffe tout d'abord en maintenant le gaz et l'air dans des proportions telles, que la chaleur soit maximum. Quand le bain est bien fondu, que la gouttière C est bien chaude, on envoie de l'air par les deux petites buses situées au-dessous des chalumeaux et dont le vent doit venir converger sur le bain métallique un peu en avant du point vers lequel convergent aussi les trois dards des chalumeaux. Alors la coupellation commence, la litharge fondue s'imbibe d'abord dans les pores de la coupelle, puis elle coule en un petit filet par la gouttière G. On la recueille dans une cuiller de fer. On ajoute par l'ouverture KI du plomb platinifère en lingots Q qui fondent au fur et à mesure que le

(*) Il vaudrait mieux donner à ce cône des bases elliptiques.

bain métallique s'oxyde, et de manière à maintenir continu le filet de litharge.

Conduite du feu.

Rien de plus facile que de conduire le feu : on règle l'arrivée du gaz de l'éclairage par un robinet spécial R. Le vent de la soufflerie mise en rapport séparément avec les tubes à air des chalumeaux, et avec les deux petites buses placées en dessous, est commandé par deux robinets qui permettent d'envoyer de l'air dans chacune des deux parties de l'appareil isolément. On fait varier la vitesse du gaz et du vent avec l'état du bain métallique qui doit être constamment en pleine oxydation, et avec la chaleur communiquée par la flamme à la gouttière G où la litharge doit toujours être fondue. Plus la flamme est oxydante, moins elle chauffe cette gouttière et plus la formation des litharges est rapide, de sorte que c'est de la modération convenable de ces deux états de la flamme que l'on doit s'occuper principalement. Une fois que les robinets sont bien réglés, que le vent du soufflet est bien constant, l'opération marche pour ainsi dire toute seule : il suffit *d'ajouter du plomb* et de maintenir la hauteur du bain *à un niveau invariable.*

Voici maintenant quelle est la disposition des chalumeaux et des buses :

Chalumeaux et buses.

Un gros tube de fer AB (Pl. I, *fig.* 7) de 4 centimètres de diamètre intérieur est traversé dans son milieu par trois autres tubes de fer CD, CD, CD de 2 centimètres de diamètre ; le petit tube du milieu est perpendiculaire à l'axe du gros tube, les deux autres sont inclinés sur cet axe.

Les surfaces de contact de ces quatre tubes sont brasées au cuivre. Dans les parties situées à l'intérieur de AB, les tubes CD sont percés de larges trous *ee*, qui permettront au gaz de l'éclairage venant par R, R d'ar-

river jusqu'aux ouvertures D, D, D. Les extrémités A et B du gros tube, C, C, C, des petits tubes, sont fermées par des bouchons. Ceux-ci sont traversés en A, B par les tubes qui amènent le gaz de l'éclairage, dont les robinets R, R règlent l'écoulement. Les bouchons C, C, C laissent passer les tubes de cuivre G, G terminés par des *bouts* de chalumeau et mis en communication par des tubes de caoutchouc avec un petit réservoir en verre ou en métal dans lequel se rend l'air d'un bon soufflet de forge ou d'une trompe suffisamment puissante.

D'après cette disposition, le gaz de l'éclairage venant de R, traversant les trous *ee*, pourra s'écouler en D, D, D, et les flammes poussées et alimentées par l'air des chalumeaux G, G, dont les bouts devront être percés de trous de 1mm,5, viendront converger à quelques centimètres au delà des extrémités D, D, D et frapper le bain métallique à coupeller, un peu en avant de son centre.

Deux petites buses ou tubes de cuivre H, H terminés par des *bouts* de chalumeau dont les ouvertures auront de 1mm,5 à 2 millimètres de diamètre et communiquant par un tuyau commun (muni d'un robinet *r*) avec le réservoir d'air de la soufflerie, amèneront également le vent sur un seul point du bain métallique situé un peu en avant du point de convergence des dards des chalumeaux. Ce robinet ne devra être ouvert que lorsque le bain sera très-chaud et que la coupellation sera commencée. L'air de la soufflerie devra sortir des buses et des chalumeaux sous une pression de 5 à 10 centimètres de mercure.

Usage des chalumeaux.

Pour mettre en train la coupellation, on charge la coupelle (*fig.* 6) de plomb platinifère, on ouvre les robinets R, R (*fig.* 7), qui amènent le combustible qu'on

allume en D, D, D; on donne le vent, en ayant soin d'intercepter, au moyen du robinet *r*, la communication des buses H, H avec la soufflerie. Les flammes doivent être aussi chaudes que possible et peu oxydantes. Une fois la fusion de plomb opérée, la chaleur monte bien vite jusqu'au point où la litharge se forme et se fond; alors on introduit le vent des buses H, H, et, quand la chaleur est maximum, que la gouttière G (*fig.* 6) de la coupelle est bien chaude, on diminue peu à peu la proportion du gaz de l'éclairage, jusqu'à ce que l'écoulement des litharges étant très-rapide (un filet continu de 1 millimètre de diamètre correspond à une bonne vitesse), la chaleur en G soit suffisante pour les maintenir en pleine fusion et empêcher la formation d'un *nez* ou accumulation de litharge figée.

En maintenant le niveau de la gouttière G à un hauteur suffisante au-dessus du bain métallique, la *vague* de litharge fondue peut être assez épaisse pour qu'on n'ait à craindre aucun entraînement de plomb platinifère. D'un autre côté, la vitesse du vent des chalumeaux est tellement grande, qu'elle maintient découverte toute la portion de surface métallique atteinte par les gaz oxydants.

Extraction du plomb platinifère.

Lorsque la proportion de platine dans l'alliage en a diminué la fusibilité à tel point, que la solidification est imminente, on supprime le vent des deux buses H, H, on règle l'arrivée du gaz de l'éclairage de telle sorte que la température soit considérable, sans que la flamme soit réductrice, et, saisissant rapidement la coupelle avec des pinces, on coule le plomb platinifère en lingotière par la gouttière G, et on recommence l'opération tant que l'état de la coupelle le permet.

Opérations subséquentes.

Le platine plombifère ainsi obtenu n'est pas dépouillé de plomb suffisamment : on le concasse en frag-

ments et on l'expose pendant quelques heures dans des coupelles d'os ou de chaux à l'action de la chaleur et de l'air dans un moufle très-fortement chauffé. L'alliage ne fond plus désormais, mais il se transforme, en laissant exsuder de la litharge, en une sorte de mousse ou de chou-fleur d'un blanc pur et qui peut être alors fondu directement et affiné au moyen de l'oxygène : ces opérations seront détaillées un peu plus loin.

C. *Coupellation en creuset.* — Pour des opérations sur une échelle moyenne, le procédé que nous allons décrire est très-commode et très-expéditif, à la condition qu'on possède de bonnes coupelles en terre d'os bien battue et présentant une certaine solidité.

Appareil.

On prend un creuset de terre de bonne qualité et assez épais qu'on perce d'un trou S (Pl. III, *fig.* 4) à sa partie inférieure : on le remplit de fragments de coke très-dense ou mieux de charbon de cornue ou de pile. On y fait entrer par la partie supérieure une coupelle CC assez épaisse qu'on soutient au moyen de deux petits barreaux de fer F, F, maintenus eux-mêmes dans quatre échancrures façonnées dans la matière du creuset et qui n'en traversent pas entièrement les parois. La coupelle doit dépasser de 1 centimètre environ les bords du creuset. Dans un moufle ordinaire en terre, on perce, au travers de la paroi inférieure, un trou circulaire qui ait exactement la largeur de la coupelle, et on pose le moufle sur les bords du creuset, de manière que la coupelle soit un peu en saillie dans l'intérieur du moufle MM. Enfin, on fait pénétrer dans cet appareil, à quelques centimètres au-dessus du fond du moufle, la buse T d'un petit soufflet de laboratoire. On chauffe tout l'appareil, soit en le plongeant dans les charbons d'un fourneau à bon tirage, soit en faisant arriver par sa partie supérieure la flamme de la houille placée dans

Chauffage.

un foyer voisin, de façon que cette flamme, pénétrant vers la partie supérieure du moufle, soit obligée de lécher et d'échauffer les parois du creuset.

Les dispositions à prendre pour réaliser ce dernier moyen de chauffage sont si simples, que nous croyons inutile de compliquer la figure en les joignant au dessin de l'appareil principal. La seule condition à observer, c'est que l'ouverture OO du moufle qu'on ferme avec une porte soit libre et que le trou S communique avec l'extérieur.

Conduite de l'opération.

Quand toutes les parties du creuset et de la coupelle sont chaudes, on introduit peu à peu le plomb qui, une fois rouge, est brûlé par l'air de la buse T. Les litharges qui se forment sont absorbées par la coupelle, elles filtrent avec une rapidité extrême au travers de sa substance jusqu'à ce que, arrivées à sa partie inférieure, elles rencontrent l'atmosphère d'oxyde de carbone qui se développe incessamment autour des charbons incandescents et se réduisent en gouttelettes de plomb. Celui-ci traverse les charbons et vient sortir du creuset par le trou S : on le reçoit dans une cuiller de fer. Il faut éviter qu'il ne se forme un vide entre les parois du creuset et le moufle : il se déterminerait alors un courant d'air qui, sortant par cet espace après être entré par le trou S, brûlerait inutilement le charbon destiné à la réduction des litharges. On évite d'ailleurs cet inconvénient en couvrant la partie plane du moufle d'une couche d'argile sèche ou de cendres d'os que l'on fait passer entre le creuset et le moufle dès qu'on s'aperçoit qu'il s'y fait un vide.

Au fur et à mesure que la surface du plomb platinifère s'abaisse par l'oxydation du plomb, on ajoute dans le bain de nouvelles quantités de matières à coupeller, jusqu'à ce que l'alliage soit devenu presque infu-

sible. Alors, ou bien on les enlève avec une cuiller de fer rouge, quand la coupelle est en bon état, et on recommence l'opération, ou bien on pousse le feu et on transforme le platine plombifère en choux-fleurs bons à être fondus dans l'oxygène. Dans le premier cas, on rôtira le platine plombifère dans un moufle et sur des coupelles d'os ou de chaux; dans le second cas, on enlèvera la coupelle, on remettra dans le creuset du charbon pour remplacer celui qui a servi à la réduction de la litharge, on ajustera une nouvelle coupelle et on fera fonctionner encore l'appareil. Il faut remarquer que les petits barreaux de fer qui soutiennent la coupelle s'altèrent très-lentement, parce que, plongés au milieu d'une atmosphère réductrice, ils sont en contact avec du plomb, la litharge se réduisant au fur et à mesure qu'elle suinte au travers des pores de la coupelle.

Le plomb qui coule par le trou S doit être très-mou et ne laisser qu'un résidu insensible lorsqu'on l'essaye par la coupellation au chalumeau La durée de cet appareil, qui fonctionne très-bien, n'est limitée que par la destruction, au contact de la litharge ou de sa vapeur, des parois du creuset et du moufle. On fera bien de pratiquer un trou dans la partie postérieure du moufle, afin de verser dans la cheminée les vapeurs d'oxyde de plomb qui sont dangereuses, surtout quand elles renferment de l'acide osmique provenant de l'osmiure d'iridium qui accompagne le minerai de platine.

1re méthode. III° *Rotissage.* — Quand on extrait de la coupelle le platine plombifère en le coulant en lingotières à haute température, il n'est pas assez riche pour pouvoir être introduit immédiatement dans les fours en chaux et pour être affiné par l'oxygène. On doit le purifier par rôtissage et l'amener à cet état de choux-fleurs où le platine ne retient plus que 5 à 7 pour 100 de plomb.

On peut s'y prendre de la manière déjà décrite plus haut, c'est-à-dire en l'exposant en fragments de la grosseur d'une noisette à la chaleur et à l'oxydation dans un moufle très-chaud ; on le met sur une coupelle en terre d'os ou en chaux : celle-ci s'imbibe de la litharge qui se forme et qui ne se volatilise pas.

On peut encore introduire les fragments de cet alliage dans un grand creuset dont le fond est percé d'un trou : au-dessus de ce trou on met des morceaux d'os calciné, puis le platine plombifère, enfin un couvercle également percé d'un trou. Le creuset est placé sans fromage dans un fourneau à vent d'un bon tirage et chauffé d'abord au rouge, puis au rouge-cerise très-clair. Il se produit un courant d'air dans l'intérieur du creuset dont le fond percé repose sur les barreaux de la grille : cet air traversant les fragments d'os calcinés s'échauffe et vient oxyder le plomb de l'alliage placé au-dessus. La plus grande partie de la litharge ainsi produite se volatilise et s'échappe par le trou dont le couvercle du creuset est percé. Il faut éviter seulement que cette ouverture ne soit obstruée par des morceaux de coke, et surtout que le coke ne pénètre dans l'intérieur du creuset lui-même. Une autre partie de la litharge imprègne les fragments d'os calcinés et coule par le trou inférieur du creuset. On la recueille avec soin dans une cuiller placée au-dessous de la grille pour ne pas perdre de platine plombifère s'il s'en détachait ou s'en fondait quelque portion. 2e méthode.

Le platine plombifère qui reste après cette opération est poreux, quoique très-dense ; il s'aplatit très-bien sous le marteau et possède la couleur de l'argent légèrement mat ; il ne contient plus que quelques centièmes de plomb, qui restent surtout à l'intérieur des morceaux.

Composition des alliages, coupelles et rôtis.

Le plomb platinifère, retiré de la coupelle lorsqu'il est en fusion, mais au moment où il va se solidifier, contient environ 28 pour 100 de plomb. Rôti dans le moufle après avoir été mis en fragments et amené à l'état d'un métal blanc et malléable à sa surface, il contient environ 10 pour 100 de plomb. Enfin les choux-fleurs obtenus en terminant à haute température le rôtissage dans la coupelle même où l'opération a commencé, ne contiennent plus que 5 pour 100 environ de plomb. Il faut noter qu'alors l'iridium se sépare souvent à l'état d'iridiate de plomb noir et cristallisé, qu'il faut éviter de perdre.

Plate-forme pour les petits fours.

IV. *Fusion du platine plombifère.* — Quand on n'opère que sur 4 ou 5 kil. de platine, il est bon d'avoir une petite plate-forme (Pl. III, *fig.* 5) mobile autour de deux tourillons comme ceux de la *fig.* 9 (Pl. I, *Annales des mines*, tome XVI). Cette plate-forme est munie de quatre rainures (Pl. III du présent mémoire, *fig.* 5) dans lesquelles glissent quatre équerres plates P, P, P, P en fer qui peuvent être fixées à volonté par des vis de pression V, V, V. Entre les équerres on place un four à chaux semblable à celui de la *fig.* 7 (Pl. I du t. XVI) qu'on maintient solidement en pressant contre ses parois les équerres dont nous venons de parler et en serrant les vis très-fortement.

Affinage.

On introduit les fragments de platine plombifère par le trou T (Pl. II du t. XVI, *fig.* 7), quand le four est bien chaud à l'intérieur ; et on remplit le four peu à peu en entretenant une flamme oxydante qui chasse le plomb en fumées de litharge jaunes et extrêmement épaisses. Ces fumées ne cessent que lorsque, ayant rempli entièrement le four, on a prolongé la fusion pendant quelque temps. Les flammes qui sortent doivent être incolores et entièrement exemptes de l'odeur d'osmium qui dis-

paraît complétement. On coule alors le platine dans une lingotière de charbon de cornue ou de chaux; nous décrirons un peu plus loin ces appareils. La coulée se fait d'ailleurs très-facilement en approchant la lingotière de la gouttière D (Pl. I du t. XVI, *fig.* 7 et 8), et en relevant peu à peu la queue X (Pl. III du présent mémoire, *fig.* 5) qui termine la petite plate-forme sur laquelle est fixé le four en chaux.

Nous renverrons, pour les détails qui concernent cette fusion, à la description de cette opération faite déjà dans notre premier mémoire (t. XVI, p. 40, 41, 42).

Origine et composition des crasses.

V° *Traitement des crasses et des matières platinifères diverses.* — Les crasses ferro-cuivreuses, obtenues à la suite des attaques de minerai par la galène en creuset, contiennent des globules de plomb platinifère qu'il faut enlever mécaniquement autant que possible. Mais comme elles peuvent aussi renfermer un peu de minerai qui aurait échappé à l'action de la galène, il faut leur faire subir un traitement fort simple que nous allons décrire aussi complétement que possible, mais en avertissant le lecteur que les dosages que nous avons employés doivent varier considérablement avec la nature et l'aspect des matières sur lesquelles on opère.

En général il faut obtenir le platine allié au plomb dans une proportion de 1 environ de platine pour 3 de plomb, si l'on veut bien dépouiller les matières de tout le métal précieux dont elles peuvent être chargées. Il faut que la scorie au milieu de laquelle on veut réunir le métal fondu sous forme de culot soit très-fusible, par conséquent contienne beaucoup de litharge. Mais en même temps il faut que la scorie ne puisse attaquer les creusets dans lesquels on fait ces opérations, et nous

avons constaté que les creusets restent tout à fait intacts quand pour 3 parties de litharge on met 1 partie de sable ou de silice. Cette scorie, en outre, ne doit jamais être bulleuse quand elle quitte la surface du culot, sans quoi elle emporte mécaniquement de petites quantités de plomb.

Quand les crasses contiennent de la galène, on peut compter sur le soufre qui s'y trouve pour fournir une certaine quantité de plomb. Il faut se rappeler que 1 équivalent (16 grammes) de soufre peut, dans ces conditions, fournir 3 équivalents (312 grammes) de plomb, ou à peu près 20 fois son poids de ce métal. Quand les crasses seront dépouillées de galène, il faudra donc leur ajouter du charbon (1 gramme de charbon de bois donne 30 grammes de plomb).

Composition du lit de fusion. La composition la plus habituelle de nos matières à fondre a été la suivante :

Sable siliceux	100
Litharges provenant de la coupellation des plombs platinifères	200
Crasses du traitement des minerais par la galène	100

On y ajoute le résidu du lavage des balayures de l'atelier qui contiennent du plomb ou du platine ou du minerai, et enfin la quantité de litharge et de charbon nécessaires pour obtenir le plomb du culot, quand les crasses ne contiennent plus de galène (on s'en aperçoit à ce qu'elles n'exhalent plus l'odeur de l'acide sulfureux lorsqu'on les chauffe au rouge sur une petite cuiller en fer).

Appareil à deux creusets. L'appareil destiné à ces fusions est d'ailleurs très-simple : on prend deux grands creusets de même taille, dont l'un entre dans l'autre à peu près de la moitié de la hauteur. Le creuset supérieur B (Pl. III, *fig*. 8) est

percé à sa partie inférieure d'un trou C. Le creuset inférieur D est muni d'un bec F, à l'aide duquel les matières scoriacées pourront s'écouler au dehors à cause de l'intervalle qui se maintient entre les deux creusets à l'endroit où ce bec existe. Quand on n'a qu'un seul de ces appareils à chauffer, on le dispose au milieu des charbons dans un fourneau ordinaire, sans le supporter par un fromage. Quand on en a un certain nombre, on les range sur la sole d'un petit four à réverbère dont la voûte est percée de trous placés au-dessus de l'ouverture de chaque creuset et par lesquels on pourra verser la matière à fondre. Ces trous se ferment par un tampon mobile, exactement comme dans les fours où l'on fond l'acier en réverbères. Au commencement de l'opération on obstrue le trou C par un gros morceau de verre et on emplit à moitié le creuset supérieur B avec le mélange à fondre. Quand l'appareil est bien chaud, la chaleur maximum ayant lieu à la hauteur du bec F, par suite de la place qu'on a donnée aux deux creusets dans le fourneau, le mélange se scorifie, le verre fond et laisse passer la matière contenant le plomb platinifère fondu et la scorie bien liquide. C'est dans le creuset inférieur que se fait la séparation de ces deux substances ; c'est dans le creuset supérieur que se prépare la fusion et qu'ont lieu les dégagements de gaz, de sorte que les bulles qui pourraient se produire ne pénètrent pas dans le creuset D. De plus, dans l'intervalle compris entre le trou percé au fond du creuset B et le bec F, la température est très-élevée, la scorie devient très-fluide avant de s'écouler en F et se dépouille entièrement de toutes les parties métalliques qui pourraient y avoir été entraînées. Le métal se réunit au fond du creuset D et la scorie se déverse, soit dans le cendrier du fourneau, soit sur la sole du four

à réverbère où l'on a ménagé un trou de coulée par où elle peut se répandre à l'extérieur. On remplit avec de nouvelles matières le creuset supérieur à mesure qu'il se vide, et quand on suppose que les creusets contiennent assez de plomb, on les enlève, on coule le plomb platinifère et on les remet immédiatement en place pour recommencer la même opération. Les creusets s'usent très-peu quand ils sont de bonne qualité et que la composition du mélange est convenablement établie. Les scories sont toujours très-brillantes et d'un rouge vif par suite de la présence de cuivre, qui se trouve en quantité très-notable dans tous les minerais de platine. Il manque seulement à ces scories un peu de silicate de potasse pour en faire le plus beau cristal de couleur cramoisie.

Matières phosphatées.

On traite de la même manière les fonds de coupelle qui ont servi à préparer les plombs platinifères : il faut alors modifier la composition des matières à fondre.

Coupelles imprégnées de litharge. . . .	1.000
Litharges.	2.000
Charbon.	17
Sable.	1.000
Verre cassé	2.000

On choisit de préférence les litharges qui ont passé à la fin d'une coupellation de platine et qui peuvent quelquefois entraîner un peu d'iridium quand on a poussé l'opération assez loin pour que l'iridate de plomb se sépare de la masse métallique sous l'influence d'une température élevée et d'un vent très-puissant.

§ III. *Méthode par coupellation sur une grande échelle.*

Les procédés que nous allons décrire ressemblent beaucoup à ceux qui viennent d'être exposés : les prin-

cipes des opérations sont les mêmes, les vases seuls dans lesquels on opère ont dû être changés.

1° *Attaque.* — L'attaque par la galène peut s'effectuer, même en grand, dans un creuset de terre, mais il vaut mieux procéder en four à réverbère dont la sole mobile est en terre d'os fortement battue à la manière des coupelles.

A. Attaque en creuset. — Le creuset dont nous nous sommes servis était chauffé sur la sole d'un petit four à réverbère dont la voûte portait une ouverture donnant directement au-dessus du creuset. Celui-ci avait pour dimensions :

Hauteur mesurée à l'intérieur......	30°.0
Diamètre à l'ouverture..........	24,0
Diamètre du la base...........	16,5
Épaisseur la plus petite en haut.....	2,0

La charge était de 3 kil. de matière (1). On a chauffé avec les précautions déjà décrites (2), on a enlevé les *crasses* avec une large spatule, et le plomb platinifère a été à la fin de l'opération puisé avec une cuiller en fer et coulé en lingotières. Le creuset une fois vidé pouvait servir à de nouvelles opérations.

Le creuset dont nous nous sommes servis était en plombagine, de sorte que le charbon de sa pâte mettait obstacle à la production de la litharge, et par suite à la désulfuration de la galène. Aussi les crasses étaient-elles sulfureuses, et lorsqu'elles ont été mêlées avec de la litharge et passées à l'appareil des deux creusets pour être scorifiées, elles ont donné beaucoup trop de

(1) Composée, comme on l'a dit plus haut, de

Minerai......................	100
Galène......................	100
Plomb à introduire pendant l'opération...	50

(2) Voyez pages 77, 78, 79, 82 et 83.

plomb. Nous préférons de beaucoup à cette méthode celle qui va être décrite.

Four. B. *Attaque en réverbère.* Un petit foyer de 40 centimètres de profondeur, 27 centimètres de large, chauffant une petite sole carrée de 40 centimètres de côté, de 4 centimètres environ de profondeur moyenne, peut servir à l'attaque de trentaine de kilogrammes de platine au moins par opération, et comme chaque opération ne dure pas plus de quatre ou cinq heures, un pareil fourneau serait suffisant pour le traitement de 60 kil. de minerai par jour. Dans aucune fabrique on n'a journellement de pareilles masses à attaquer, à moins que ce ne soit pendant un temps limité et d'une manière exceptionnelle. On pourra adopter cette forme et cette dimension pour de plus grandes ou de plus petites quantités de platine, en ayant soin de creuser la sole plus ou moins profondément dans sa partie moyenne. Cette sole est faite avec un cadre de fonte tout fait semblable à celui qui est dessiné dans les *fig.* 9 et 10 de la Pl. III; il a seulement des dimensions différentes : 16 centimètres de hauteur, 50 centimètres de largeur et 40 centimètres de longueur. En avant deux clavettes C, C maintiennent solidement une cloison en fer RR qui ferme en avant une partie de ce parallélipipède creux. On y fait battre par un laveur de cendres une coupelle très-solide et tellement compacte, qu'on ait de la peine à l'entamer avec la pointe d'un couteau. On fait sécher la coupelle sur un feu de braise couvert : les intervalles en forme de grille laissés sur le plancher du cadre de fonte facilitent beaucoup sa dessication, qui doit s'opérer sans qu'il se manifeste aucun fendillement dans la matière. On enlève les clavettes et la plaque de tôle placées en avant de la coupelle, et qui permettront par la suite de coupeller en

pratiquant une rainure, si on le juge à propos ; on introduit alors la coupelle dans le réverbère, en ayant soin d'en garnir les bords avec des briques sur une épaisseur de 10 centimètres, ce qui réduit la surface chauffée à un carré de 40 centimètres de côté. En avant de la coupelle on ménage une petite porte de travail placée juste au-dessus du bord de la coupelle, d'où l'on a enlevé la plaque de tôle et ses clavettes ; en arrière est un trou par où pénètre une buse en fer dont le diamètre est de 2 ½ centimètres et qui amène le vent d'un bon soufflet. Dans la voûte du réverbère est un trou fermé par une plaque de terre par où l'on introduira les matières à traiter.

Toutes ces dispositions sont, aux dimensions de la coupelle près, figurées dans la Pl. IV (*fig.* 3). Le foyer est à l'échelle : la coupelle seulement est trop étroite, parce qu'elle est destinée à une autre opération que celle que nous décrivons en ce moment : on y voit aussi le mode d'encastrement de cette coupelle dans les parois du fourneau, entre lesquelles elle a une certaine mobilité, puisqu'elle est posée sur des galets. Enfin on peut faire suivre la coupelle d'un second four où sont disposés des vases G, G dans lesquels se fabriquera l'oxygène, et qui seront chauffés par la chaleur perdue de l'opération principale.

On mélangera : Charge.

Minerai.	100
Galène.	50
Plomb	50

Le minerai et la galène sont broyés et bien mêlés. Le plomb, qui sera toujours un peu platinifère, parce qu'il proviendra du traitement des *crasses* ou des résidus ou cendres platinifères, sera réparti dans la masse en petits fragments pesant 20 à 50 grammes.

On commencera par étendre sur la sole, de manière à la couvrir dans toutes ses parties,

Galène pulvérisée. . . . 25

On versera sur la sole toute la masse contenant le minerai, la galène et le plomb, de manière à lui donner la forme d'un cône un peu aigu. Sur le sommet de ce cône, et de manière à en couvrir entièrement la surface, on verse encore :

Galène pulvérisée. . . . 25

Réaction. La charge ainsi disposée repose donc sur de la galène pure et se trouve également recouverte dans toutes ses parties par de la galène. On chauffe alors autant que possible en atmosphère réductrice ; lorsque toute la masse commence à rougir, on voit la réaction s'effectuer partout; et la température s'élever par suite de la réduction de la galène au contact du fer des minerais. Cette opération terminée, on pousse le feu : le cône qui s'est durci et solidifié s'abaisse peu à peu, et au fur et à mesure que la chaleur augmente, la liquéfaction s'opère. On n'agite avec un rable d'argile qu'au moment où la masse est régulièrement pâteuse et parsemée de globules métalliques. En même temps que la chaleur augmente, les flammes deviennent oxydantes, et du plomb se forme aux dépens de la galène ; on voit également des *crasses* composées de sulfures de fer, de cuivre et de plomb paraître manifestement. On donne alors un peu de vent, tout en continuant

Oxydation. à pousser le feu. Peu à peu les crasses augmentent, et à un certain moment, lorsque les litharges commencent à se maintenir, le bain peut bouillonner : ce qui n'a rien de bien dangereux, parce que tout le plomb platinifère qui pourrait être entraîné se dépose sur le pont

qui sépare la coupelle du four à oxygène. Cependant il vaut mieux alors diminuer le vent de la buse et laisser l'acide sulfureux se dégager lentement et à la surface du bain. On finit par obtenir un bain métallique bien liquide, à la surface duquel la litharge persiste en mouillant sans les dissoudre les *crasses* de fer désormais oxydées qui se promènent à la surface du bain et ne diminuent plus de volume. On passe alors sur la coupelle un petit ringard en terre pour mélanger complétement toutes les parties de la masse métallique et y faire pénétrer tous les globules de plomb que l'on voit à la surface des crasses, et quand toute réaction est terminée, que la coupellation du plomb est franche, on enlève avec soin, au moyen d'une spatule de fer, toutes les crasses jusqu'à ce que la surface du plomb en soit tout à fait dépouillée.

Alors on peut ou bien enlever le plomb avec une cuiller de fer oxydée à sa surface, ou bien continuer la coupellation en faisant une rainure dans la coupelle, rainure qu'on approfondit au fur et à mesure que la surface du métal s'abaisse. Nous n'avons jamais opéré ainsi, et nous préférons avec une cuiller couler le plomb platinifère en lingotières et le coupeller dans un appareil distinct qui sera bientôt décrit. Dans ce cas la sole devient libre et l'on peut immédiatement recommencer une nouvelle opération. Cette sole peut servir un grand nombre de fois, même lorsqu'on l'a laissée refroidir. Seulement à la dernière opération, quand on l'a vidée du métal platinifère qu'elle contient, il faut l'imprégner de litharge en y jetant quelques kilogrammes de plomb pauvre qu'on oxyde rapidement par le vent du soufflet et à la faveur de la haute température développée dans le fourneau. Nous avons fait servir deux fois une sole ainsi refroidie.

Extraction du plomb platinifère.

Composition de la galène.

La galène ou alquifoux qui nous a servi donne 84,5 pour 100 de plomb à l'essai. Ce plomb coupellé contient 50 grammes d'argent par 100 kil.

Dans cette attaque nous avons obtenu deux espèces de produits : 1° des plombs platinifères à coupeller; 2° des *crasses* oxydées à traiter encore pour platine, à cause des globules de plomb entraînés par elles mécaniquement. Nous nous occuperons un peu plus tard du traitement de ces *crasses*.

Coupelle.

II° *Coupellation des plombs platinifères.* — La coupelle que nous avons employée a été battue avec des cendres d'os dans un cadre de fonte en forme de caisse parallélipipédique (Pl. III, *fig.* 9 et 10), dont le fond est une sorte de grille I, I. A la partie antérieure se trouve une plaque de fer P appliquée contre la paroi antérieure par des clavettes de fer C. C. Quand la coupelle est battue (1), on enlève les clavettes et la plaque de fer, et la surface de la coupelle se trouve mise à nu sur une surface de 1 décimètre carré environ. La figure contient les cotes nécessaires pour en calculer toutes les dimensions (2). Nous ferons remarquer que nous n'avons donné si peu de largeur à cette coupelle que parce que nous n'avions à y faire passer qu'une petite

(1) Cette opération est très-difficile et doit être confiée à un ouvrier habile. Nous devons en partie notre succès dans ces opérations à la complaisance de M. Gauthier aîné, qui a bien voulu nous donner l'aide de ses ouvriers coupelleurs avec un désintéressement dont nous sommes heureux de le remercier publiquement.

(2) Dimensions du cadre : longueur . . . . 5°,0
largeur 26,0
profondeur 10,0
Dimensions de la coupelle : profondeur au centre. . 6,5
épaisseur sur les bords. 3,0
Diamètre intérieur de la buse 1,6

quantité de plomb, et que sa longueur était déterminée par les dimensions du fourneau de la Pl. IV, *fig.* 3, dans lequel elle doit être placée. Ce fourneau lui-même est destiné à la fabrication de l'oxygène et utilise les flammes perdues de la coupellation. La coupelle étant battue, on y ménage une cavité ellipsoïdale dans laquelle se trouvera le plomb à traiter. Cette cavité doit avoir une capacité telle, qu'elle se trouve à la fin de l'opération entièrement remplie de platine plombifère riche de 72 pour 100 de platine, le plomb platinifère devant être ajouté au fur et à mesure que la coupellation s'effectue, de manière à y déterminer un niveau constant de matière métallique. C'est la méthode anglaise, dans laquelle on n'a jamais besoin d'entamer les bords de la coupelle pour faire écouler les litharges.

La coupelle étant bien séchée, on l'introduit dans le four et on l'établit solidement sur des galets qui lui donnent une certaine mobilité. On recouvre toutes les les parois saillantes de fonte avec des briques reliées à l'autel A (Pl. IV, *fig.* 3) et au mur de brique D. On prend les mêmes précautions en fermant les ouvertures antérieures et postérieures de la sole. Dans la paroi postérieure on ménage un trou qui laisse passer la buse B d'un soufflet, buse qui a 1,6 centimètre d'ouverture, et un trou P carré de la forme des lingots par où ceux-ci seront introduits sur la coupelle au fur et à mesure que le niveau du bain métallique diminuera. Four.

La paroi antérieure, qui ne se trouve pas indiquée dans le plan de la Pl. IV, *fig.* 3, sera également fermée, excepté au point précis par lequel les litharges vont s'écouler et qui correspond à une gouttière très-peu profonde creusée dans la matière même de la coupelle et au milieu de la paroi antérieure. Toutes ces dispositions

sont communes à notre procédé et au procédé ordinaire de la coupellation continue de l'argent. Pour le platine, comme on a tout intérêt à coupeller à haute température, on restreindra autant que possible toutes les ouvertures qui peuvent laisser affluer de l'air dans le four ou sur le bain métallique et les refroidir.

La voûte du réverbère est percée en K d'une ouverture assez large, fermée par un tampon en terre réfractaire. Elle est utile pour l'introduction des masses volumineuses de litharge qu'on a souvent intérêt à rerefondre dans la coupelle, quand on craint que les litharges n'aient entraîné les grenailles de plomb platinifère.

Enfin, la Pl. IV (*fig.* 5), nous montre le foyer F et le second four dans lequel sont placés des manchons G, G destinés à la fabrication de l'oxygène et dont la description sera donnée plus loin.

On chauffe le four à la houille dans les premières heures, puis avec un mélange de bois et de houille, et enfin avec du bois seulement quand la coupellation est en train.

Coupellation. La coupelle étant ajustée et déjà chaude, on la remplit avec du plomb pauvre ou mieux avec des plombs platinifères d'une très-faible teneur qu'on obtient par le traitement des crasses, des cendres de l'atelier et dans l'appareil des creusets doubles qui est décrit un peu plus haut ou dans le four à manche dont il sera question un peu plus loin. Il est bon, en effet, d'imprégner la coupelle avec des litharges provenant de plomb presque pur. On n'introduit du plomb platinifère un peu riche que lorsque la coupelle est gorgée et que la litharge coule abondamment par la gouttière ménagée à sa partie antérieure. Lorsque le plomb pur est chaud, on donne en effet du vent, d'abord lente-

ment; puis on en augmente la vitesse au fur et à mesure que le plomb s'échauffe en brûlant, et l'on entretient le niveau de celui-ci en introduisant des lingots sur la sole. On les remplace bientôt par du plomb platinifère, et l'on conduit la coupellation en ne s'inquiétant ni de la chaleur qui peut être très-grande sans inconvénient, ni de la vitesse du vent qui peut être considérable sans danger à cause de la longueur excessive de la coupelle. La vague de litharge perd bientôt de sa hauteur au fur et à mesure qu'elle s'éloigne de l'extrémité de la buse, et elle ne conserve plus que l'intensité nécessaire pour déborder la coupelle et passer par-dessus la gouttière. Une opération de ce genre est bien plus facile à conduire qu'une coupellation de plomb argentifère, où la plus grande difficulté consiste à ne perdre que le moins possible d'argent par les fumées. Les fumées ne pourraient ici contenir que du platine *projeté* qui ne va jamais loin et resterait sur les briques de l'autel D, où on le recueillerait très-facilement, quand même on aurait exagéré au delà de toute mesure la vitesse de la coupellation.

Extraction du platine plombifère.

Peu à peu la coupelle se remplit d'un alliage peu fusible et qui exige enfin un bon coup de feu pour y maintenir la liquidité et l'oxydabilité : alors elle doit être, à très-peu près, pleine. On interrompt le vent de la buse B, on clôt hermétiquement toutes les ouvertures du fourneau, et l'on ouvre le registre de la cheminée qui, dans toute la durée de l'opération qui vient d'être décrite, doit être fermée aussi complétement que le permet l'entretien de la chaleur. On chauffe vivement au bois, et lorsque le bain est bien chaud, on y puise le platine plombifère avec une cuiller de fer chaude ou avec une grosse tige de fer froide à laquelle s'attache le métal qu'on en détache par un coup sec

frappé sur sa poignée. On vide ainsi entièrement la coupelle, mais dans l'atmosphère oxydante du feu de bois, et l'on n'y laisse que quelques choux-fleurs de platine adhérents à la partie supérieure de ses parois latérales ou quelques globules de platine plombifère. On n'a pas besoin de se préoccuper de ces petites quantités de matière qui enrichiront les plombs platinifères qu'on aura encore à y faire passer. En effet, dès que cette première coupellation est terminée, on peut emplir de nouveau la coupelle de plomb platinifère et opérer ainsi jusqu'à ce que la provision de plomb soit épuisée.

Refonte des litharges.

Quand on peut craindre que les litharges contiennent des grenailles, il est prudent, après une opération comme celle que nous venons de décrire, de les refondre toutes dans la coupelle encore rouge, en les introduisant successivement et au fur et à mesure qu'elles se liquéfient par le trou K. Lorsque le bain est bien liquide et la coupelle bien pleine de litharge, on y jette quelques morceaux de charbon dense comme le charbon de cornue à gaz (avec lequel on fait les éléments de pile) qui réduit un peu de plomb et facilite la réunion des grenailles. La litharge s'écoule par la gouttière au fur et à mesure qu'on en introduit, et cela avec une vitesse telle, que cette opération ne coûte presque rien tant en main-d'œuvre qu'en combustible. Mais elle ne doit être faite que lorsque l'on ne peut plus se servir de la coupelle, parce que celle-ci se couvre de fissures dans tous les points où elle a été mouillée par de la litharge, tandis que toutes les parties de sa paroi qui n'ont été touchées que par le plomb sont absolument intactes. Aussi la coupelle ne s'use-t-elle jamais que par sa partie supérieure. Quand on a fondu toutes les litharges, la coupelle en contient une couche plus ou

moins épaisse, au fond de laquelle se trouve du plomb platinifère. On abat le feu, en retirant les grilles, on ferme toutes les ouvertures et le registre du fourneau pour laisser le refroidissement s'opérer avec lenteur. Quand le tout est froid, on trouve la coupelle pleine de litharge exfoliée, qui s'en retire sous forme d'écailles ou de larges lames transparentes, et un culot de plomb platinifère qui ne présente aucune adhérence avec la cendre d'os.

On démolit la coupelle, on met de côté toute la terre d'os encore pulvérulente pour la faire resservir, et l'on réserve toutes les parties imprégnées de litharge, qu'on traitera un peu plus tard pour en retirer une petite quantité de platine qu'elle a absorbé. Nous reviendrons un peu plus loin sur ce traitement, à l'article qui concerne les crasses, cendres, balayures d'ateliers, etc.

Dans la coupelle qui nous a servi, nous avons introduit : Exemple.

	k.
Plomb pauvre.	30,00
Plomb platinifère.	36,58
Litharge recueillie	45,00
Platine plombifère obtenu	13,50

(matière métallique adhérente à la coupelle, peu considérable).

Le platine plombifère avait pour composition : Composition des produits.

Platine.	78
Plomb	22
	100

Les litharges de cette opération ont été repassées par la coupelle pour en séparer quelques grenailles, et surtout pour réunir toute la matière platinifère adhé-

rente à la coupelle, on a mis un peu de charbon sur la coupelle pour produire un peu de plomb, on a obtenu :

Litharge refondue.	58k,0
Plomb platinifère	1k,1

contenant :

Platine	62g,4

Ce qui indique bien que la quantité de grenailles emportées par les litharges a dû être absolument nulle.

Enfin, les litharges refondues pesant 36 kil., passées à l'appareil aux doubles creusets, Pl. III, *fig.* 8, avec le tiers de leur poids de sable et 5 grammes de charbon de bois par kilo, ont donné du plomb, laissant à la coupelle un résidu qui ne pèse que les 0,0006 du poids de la litharge et qui consiste principalement en argent métallique et un peu d'iridium provenant des osmiures sans traces de platine.

Il faut conclure de cette opération qu'aucune partie du platine n'a été entraînée par les litharges, et que celles-ci, sur 20 kil. de minerai, n'ont fait perdre qu'une quantité d'osmiure d'iridium égale au plus à 6 grammes, ce qui est absolument négligeable.

III° *Rôtissage.* — Le platine plombifère qui reste comme résidu de cette opération contient encore 22 p. 100 de plomb, quantité beaucoup trop grande pour qu'on puisse économiquemeut fondre et affiner l'alliage dans l'oxygène. Nous lui faisons subir préalablement une opération intérmédiaire que nous appelons *rôtissage*, et qui peut s'exécuter de plusieurs manières.

Rôtissage par fusion.

A. On peut introduire le platine plombifère dans des coupelles de petite dimension à base carrée ou circulaire, faites exactement comme les coupelles d'essayeur, mais très-profondes et présentant 10 à 12 cen-

timètres de diamètre intérieur. Ces coupelles, placées dans des moufles chauffés à haute température au moyen de la flamme et dans un four à réverbère, comme celui qui est figuré dans notre premier mémoire (*Annales des mines*, 5ᵉ série, tome XVI, Pl. 1, *fig.* 4), sont portées au rouge cerise clair, et quand elles sont arrivées à la température où le platine plombifère peut fondre, on introduit celui-ci par gros fragments et avec précaution, de manière à remplir entièrement la coupelle. L'oxydation du plomb s'effectue alors sur le métal fondu et aux dépens de l'air qu'appelle dans les moufles imparfaitement fermés le tirage de la cheminée, avec laquelle ces moufles communiquent par les trous O, O' ménagés dans leurs parois. Le platine plombifère perd ainsi presque tout son plomb, qui s'imbibe en partie dans la coupelle, se volatilise en partie à l'état de litharge : il reste, après l'opération, du platine en choux-fleurs qui contient à peine 5 p. 100 de plomb, et qu'on peut fondre dans l'oxygène avec la plus grande facilité.

Bien souvent on trouve uniformément répandue à la surface du platine une poudre cristalline noire et pesante qui contient à l'état d'oxyde de rhodium RhO et d'iridiate de plomb IrO^2, HbO la presque la totalité du rhodium et de l'iridium appartenant au minerai. Cette opération ainsi conduite peut être utilisée, comme nous le verrons plus tard, pour obtenir du premier coup, par nos méthodes de fusion, du platine pur et exempt des métaux qui l'accompagnent.

B. On peut encore opérer le rôtissage autrement. On se sert soit de la coupelle en terre d'os, soit de morceaux de chaux parallélipipédiques et légèrement creusés; on les introduit dans un moufle, dont on porte peu à peu la température jusqu'au rouge cerise vif, après **Rôtissage sans fusion.**

les avoir emplies avec le platine plombifère grossièrement concassé. Le plomb s'oxyde peu à peu à la surface des fragments, la litharge coule et se volatilise avant que la température soit assez élevée pour que le platine plombifère entre en fusion : cet affinage partiel et gradué se fait assez vite pour que le platine plombifère ne soit plus fusible désormais au moment où la chaleur est devenue maximum dans le moufle. L'alliage devient, après cette opération, aussi brillant que de l'argent : le platine qui est à la surface des morceaux grillés est presque pur et très-mou ; les parties centrales de fragments retiennent seules du plomb et d'autant moins que le rôtissage a été plus prolongé. La teneur moyenne en plomb de ces masses de platine rôti est d'environ 8 p. 100.

Traitement des coupelles.

L'iridium et le rhodium ne se séparent plus dans ce procédé avec la netteté que nous avons souvent observée lorsqu'on coupelle à haute température des plombs platinifères qui restent fondus jusqu'à ce que la presque totalité du plomb ait disparu. Mais il arrive alors que les coupelles de chaux, agissant par leur matière sur l'iridiate de plomb, le transforment en iridiate de chaux et oxyde de plomb. Aussi faut-il bien se garder de perdre les coupelles de chaux mises hors de service. On les délite lentement ou on les laisse se déliter à l'air et on les soumet au lavage ; la chaux pure ou carbonatée est entraînée par l'eau, et la portion imprégnée de litharge et qui peut contenir de l'iridium reste au fond de la sébille ou sur l'augette. Cette chaux, imprégnée de plomb et un peu iridifère, sera ajoutée aux crasses et autres matières destinées à être passées à l'appareil des deux creusets déjà décrit (Pl. III, *fig*. 8). On aura bien soin également de recueillir les parties imprégnées de litharge des cou-

pelles en terre d'os : un peu de plomb platinifère et surtout d'iridiate de plomb peut s'infiltrer dans leur substance. On évite toute chance de perte en les broyant et les traitant comme il sera dit à la page 123.

C. Enfin le mode de rôtissage le plus énergique consiste à chauffer le platine plombifère sur la sole d'un petit *four* à réverbère et en pleine flamme oxydante *de bois sec* dans les coupelles de cendres d'os ou de chaux dont on vient de donner la description. Au milieu de cette flamme, si le feu est bien conduit, l'oxydation marche avec une extrême énergie et les litharges se volatilisent ou s'imbibent dans les coupelles avec une grande rapidité. On peut même se passer de coupelles et rôtir directement sur une sole faite avec de la cendre d'os ou de la chaux fortement tassée. Un foyer de 40 centimètres de profondeur et de 27 centimètres de largeur avec un petit autel de 22 centimètres d'épaisseur suffit pour rôtir sur une sole de 40 centimètres quarrés 40 à 50 kil. de platine plombifère à la fois. **Rôtissage à la flamme.**

Nous ne donnerons ici, pour ne pas allonger ces descriptions déjà si nombreuses, aucun détail relatif à la construction de ces petits fours à réverbère dont l'usage devrait, selon nous, se répandre dans tous les laboratoires de chimie minérale. Leur construction, d'après les cotes que nous venons de donner est si simple, que nous n'insistons ici que sur la commodité de ces appareils dont, au laboratoire de l'École normale, nous nous servons dans un très-grand nombre de cas. Nous y chauffons des tubes de porcelaine, des creusets de toute dimension. On pourrait y faire des essais de fer en grand nombre à la fois. Si quelques-uns de nos confrères voulaient utiliser notre conseil à ce sujet, ils pourraient consulter la planche de notre premier mémoire (*Annales des mines*, 4e série, tome XVI, Pl. I, **Fours à réverbère.**

fig. 1). Le four à réverbère représenté avec ses cotes dans cette figure, et qui sert à faire de l'oxygène au moyen de bouteilles à mercure, est précisément celui que nous avons employé pour nos rôtissages, pour chauffer les appareils à deux creusets figurés dans la Pl. III, *fig.* 8, du présent mémoire, enfin pour toutes les opérations dans lesquelles on emploie d'habitude le coke et un fourneau à vent. La flamme a cet énorme avantage de ne détériorer aucun des appareils qu'elle échauffe ; les scories du coke sont au contraire très-dangereuses pour les creusets, les cornues en grès, les tubes de porcelaine, etc.

Le rôtissage à la flamme peut évidemment se faire d'une manière continue, à la condition qu'on chargera du côté du rampant de la cheminée les fragments de platine plombifère et qu'on les extraira du four lorsqu'ils auront été amenés progressivement jusque près de l'autel où la chaleur est maximum. Il est bien entendu que toute la substance de la sole imprégnée de litharge devra, lorsque la sole sera mise hors de service, être recueillie avec soin, broyée, lavée et mêlée aux crasses, scories, etc., destinées aux traitements à décrire ou déjà décrits pour en retirer le platine ou l'iridiate de plomb qui y seraient fixés mécaniquement.

IV° *Fusion.* — La fusion du platine plombifère convenablement *rôti* est une opération très-facile et très-peu coûteuse, parce qu'elle peut se faire dans des fours à fusion continue construits en chaux, comme ceux que nous avons déjà décrits dans notre premier mémoire. En effet, le platine plombifère n'exerce aucune action destructive sur les parois du four. La litharge qui s'y produit sous l'influence d'une température extrêmement élevée, en sort à l'état gazeux et n'a pas même le temps de mouiller les parois de la sole en con-

tact avec le platine plombifère ou de la voûte qui est aussi chaude que le platine lui-même. Il s'en condense seulement de larges lames transparentes dans les parties du four que la chaleur n'atteint pas.

Fours.

Le four dans lequel nous faisons ces fusions a été décrit dans notre premier mémoire, et il est représenté dans la *fig.* 7 de la Pl. I (*Annales des mines*, 4ᵉ série, tome XVI). Il doit être ajusté sur une monture en tôle mobile, au moyen d'une charnière, autour du trou de coulée. Ainsi, si l'on veut bien se reporter aux deux *fig.* 7 et 9 de notre premier mémoire, on aura dans la *fig.* 7 la disposition du four de fusion avec le trou fait dans la voûte pour introduire le platine; on aura dans la *fig.* 9 la dimension et la forme de la monture de ce four. On trouvera aussi dans le texte (p. 39, 40, 41 et 42) toutes les précautions à prendre pour fondre le platine. Elles sont les mêmes que pour le platine plombifère, si ce n'est qu'il faut toujours, pour celui-ci, maintenir la flamme du chalumeau oxydante, afin que le plomb soit chassé à l'état d'oxyde. On devra également introduire les fragments de platine à affiner, après les avoir un instant chauffés au rouge. On évite ainsi les projections de platine qui pourraient occasionner des pertes, si ces fragments étaient humides. Le fragment qu'on introduit tombe dans le bain métallique une fois que celui-ci est formé, y disparaît en développant des fumées jaunes et fort épaisses de litharge: dès que ces fumées se sont un peu éclaircies, on met un autre fragment, et ainsi de suite jusqu'à ce que le four soit plein. On chauffe encore quelque temps après la fusion complète, parce que les flammes vertes indiquent encore dans le platine la présence d'un peu de palladium, peut-être même du cuivre, si l'attaque par la galène a été incomplète, parce que l'odeur d'osmium

Affinage.

qui persiste après la disparition des flammes vertes indique la décomposition des dernières traces d'osmiure d'iridium qui ont résisté à la coupellation. Quand tous ces signes d'impureté ont disparu plus ou moins complétement, on coule le métal affiné dans une lingotière parallélipipédique faite avec quatre plaques de charbon de cornue assujetties au contact par du fil de fer. Le métal coulé dans du charbon ne donne pas de bons lingots; mais les lingotières en charbon sont très-maniables, peu coûteuses et, comme les lingots sont presque toujours destinés à la refonte, ce sont ces lingotières qu'il faut préférer dans cette opération intermédiaire.

Coulée.

L'entière disparition des flammes vertes et de l'odeur d'osmium n'aurait lieu, la plupart du temps, qu'après un chauffage très-prolongé, si l'on voulait l'obtenir dans ces fours à chaux qui se fendillent et dont les fentes se remplissent de litharges et d'oxydes volatilisés, que la flamme et la chaleur atteignent seulement au bout d'un temps fort long. Il vaut donc mieux couler le platine sans attendre que la flamme du chalumeau au sortir du four soit devenue tout à fait incolore, sauf à refondre le platine ainsi coulé. La fusion du platine est une opération si facile et si peu coûteuse, qu'on ne doit pas tenter de faire cette économie qui consisterait à affiner et à couler définitivement le métal du premier coup. Dans ce cas, il faudrait verser le platine affiné dans des lingotières en chaux dont nous donnerons plus tard la description.

Aussitôt que le four est vidé, on le remet dans la position horizontale, et, comme pendant la coulée on a diminué la vitesse des deux gaz, on tourne les robinets pour rendre la vitesse primitive et l'on introduit de nouveau platine dans le four. On recommence ainsi cette

opération aussi souvent que l'on veut. La seconde fusion, effectuée dans le même four en opérant sur les mêmes quantité de platine, consomme un volume de gaz presque moitié de ce qu'il faut pour la première opération, à cause de la lenteur avec laquelle la chaux s'échauffe à une profondeur convenable. Aussi faut-il calculer la grandeur de son four de telle sorte que la *fusion* complète de toute la provision de platine qu'on veut affiner s'opère en trois ou quatre opérations successives. En effet, un four à chaux bien construit et bien *cerclé* peut servir presque indéfiniment, à la seule condition qu'on n'interrompe pas les fusions et qu'on évite de froisser les parties saillantes de la chaux avec les instruments qui servent à introduire le platine. Quand on laisse refroidir le four après une ou deux manipulations successives, on peut le faire servir encore deux ou trois fois, mais à la condition de le conserver au milieu de la poussière de chaux vive. Il est vrai que nous n'avons jamais pris tant de précautions pour la conservation de ces appareils, qui se fabriquent si facilement et dont la matière a si peu de valeur.

Traitement des fours.

Quand la chaux est siliceuse, elle s'altère un peu à la haute température que le gaz et l'oxygène développent par leur mélange : l'intérieur des creusets devient noir en s'imbibant en même temps d'un peu de litharge, d'oxyde de cuivre ou même d'oxyde de fer qu'on a introduits dans les fusions ou qui se trouvent dans la chaux. La matière devient spongieuse et quelques globules de platine pourraient bien s'y perdre. Après chaque opération du genre de celles que nous venons de décrire, on doit démonter le four, le déliter lentement ou laisser se déliter à l'air la chaux dont les morceaux sont colorés par le feu, les broyer finement et les laver pour retrouver les petites grenailles qui échapperaient à la recherche di-

recte. Le résidu du lavage doit être traité par l'acide muriatique bouillant, qui laisse ces petits globules parfaitement brillants et prêts à être ajoutés à une fonte nouvelle.

Ventilation. Nous avons toujours effectué nos fusions en faisant entrer la flamme sortant du four dans un tuyau de poêle, horizontal sur une longueur de 50 centimètres, puis vertical et communiquant avec une cheminée d'un bon tirage, tirage qu'on modérait d'ailleurs au moyen d'un petit registre à charnière placé dans la partie verticale du tuyau. Tout le plomb volatilisé, tout l'acide osmique sortaient par cette voie du petit laboratoire où nous opérions et où nous n'avons jamais été incommodés par les vapeurs métalliques toutes les fois que nous avons usé de cet excellent moyen de les expulser. Nous avons ensuite retrouvé dans la partie horizontale de notre tuyau un grand nombre de petits globules microscopiques de platine mêlé à de la litharge. On retrouve ausi dans cette poussière métallique fort lourde, mais dont une partie à cause de sa ténuité va fort loin, du palladium, de l'argent et même de l'or. Le platine est projeté quelquefois en globules extrêmement fins pendant la combustion du plomb, mais surtout lorsqu'en tournant brusquement le robinet de gaz de l'éclairage, on rend subitement, et sans le vouloir, l'atmosphère du four réductrice. On voit alors au sein de la masse métallique un bouillonnement général, venant sans doute du déplacement de l'oxygène dissous dans le bain et qui ne peut plus s'y maintenir dès que la composition du gaz change à la surface du platine et surtout quand cette atmosphère devient réductrice. Les autres métaux, palladium et or venant du minerai, sont volatilisés ainsi que l'argent introduit par la galène qui n'en est jamais exempte.

Pour estimer la quantité d'oxygène exigé par l'affinage du platine plombifère dans les plus mauvaises conditions, nous avons soumis à l'expérience une matière dont la composition était : Oxygène dépensé.

Plomb.	13,2
Platine	86,8
	100,0

Nous en avons employé 2^{k},259, que nous avons fondus en une fois en dépensant 380 litres d'oxygène, avec une vitesse (insuffisante) de 300 litres à l'heure. La composition de cet oxygène était :

Acide carbonique	0,7
Azote.	8,2
Oxygène	91,1
	100,0

La quantité d'oxygène nécessaire pour fondre et affiner 1 kil. de plomb platinifère est donc en maximum de 133 litres.

En continuant à opérer la fusion dans le même four, on descend à une consommation de 100 litres par kilogramme en maximum.

V° *Traitement des crasses, des scories et autres produits platinifères.* — Ces produits, d'origine diverse, sont assez nombreux ; on obtient principalement :

1° *Crasses sulfurées* provenant du traitement incomplet du minerai par la galène. Ce produit doit provenir d'accidents faciles à éviter : il contient en quantités variables : Nature et composition des crasses.

Sulfure de plomb.
Sulfure et oxyde de fer.
Sulfure de cuivre.
Grenailles de plomb platinifère ?
Quelques grains de minerai ?

2° *Crasses oxydées*, produit régulier de fabrication :

Oxyde de plomb, Oxyde de fer, Oxyde de cuivre,	dominants,
Silice, Chrome, Titane, Alumine, Zircone, etc.,	en petites quantités,
Grenailles de plomb platinifère.	

3° Débris des creusets d'essai, matières siliceuses et plombeuses où l'on peut supposer un peu de platine.

4° Débris de coupelles en terre d'os imprégnées de matières métalliques; ils renferment :

Chaux,
Phosphate de chaux,
Litharge,
Platine plambifère en petite quantité.

5° Débris de coupelles en chaux, poudre enrichie par le lavage et contenant :

Chaux,
Litharge,
Platine fortement iridé en petite quantité.

6° Balayures d'atelier renfermant du platine, du plomb platinifère, du minerai et en général toutes les matières qui sont traitées, soit directement, soit indirectement dans la fabrication.

7° Cendres des foyers d'essai ou de fabrication dans lesquelles un accident a introduit des matières platinifères. On les lave préalablement et l'on ne conserve que les parties les plus lourdes restées dans la sébille.

8° Débris de fours en chaux imprégnés de matières oxydées par l'affinage du platine. Un lavage fait avec soin après pulvérisation et un traitement par un peu d'acide muriatique bouillant en sépare d'abord du platine métallique pur, qu'on réserve pour la fonte directe, et des substances oxydables très-nombreuses dans lesquelles on trouve :

Silice, Chaux, Fer,	beaucoup,
Chrome, Cuivre, Plomb,	un peu.

Fusion au double creuset.

A. *Traitement des crasses et des matières riches en platine.* — On les mêle avec :

Litharge	200
Sable	100

On y ajoute une quantité de litharge et de charbon de bois pulvérisé (1 de charbon fournit 30 de plomb) nécessaires pour produire la quantité de plomb dont on a besoin, et on les passe à l'appareil à double creuset de la *fig.* 8, *Pl. III*, décrit à la page 98. Quand on veut y mêler les débris de coupelles d'os, on fait un dosage particulier pour ces matières et qui se compose de :

Coupelles d'os imprégnée	1.000
Verre concassé	2.000
Charbon de bois	17

Ce mélange doit être ajouté au premier dans la proportion de 2 de celui-ci et de 1 au plus du second. Le tout devient extrêmement fusible.

Essai préliminaire.

En général, le phosphate de chaux des coupelles enlève de la fusibilité à ces matières, et il est bon de faire préalablement un essai sur 100 grammes de ces

substances prises régulièrement dans la masse totale et qu'on fond dans un petit creuset de terre. On observe :

1° La quantité de plomb produite, d'après laquelle on se règle pour la proportion de charbon à ajouter. Ce plomb est coupellé à part et indique la richesse totale en platine.

2° La fusibilité du mélange, d'après laquelle on détermine la quantité de la litharge à faire entrer dans le lit de fusion.

3° L'état du creuset : s'il est attaqué, on augmente la dose de sable siliceux : on en met une quantité telle, que le creuset ne soit plus altéré et que la matière conserve sa fusibilité (1).

4° On voit le mélange se boursoufler pendant la fusion, et l'on est guidé par cette expérience préliminaire sur les quantités de matières qu'il faut introduire à la fois dans le creuset supérieur (Pl. III, *fig.* 8), pour qu'elles ne puissent pas passer par-dessus le bord de ce creuset.

Dans une fabrication régulière et après une expérience de quelques mois, tous les dosages devraient devenir définitifs et ces essais préliminaires n'auraient plus d'utilité. Nous avons dû cependant nous astreindre à les exécuter un grand nombre de fois pour arriver à fixer les proportions du lit de fusion indiquées ci-dessus, lesquelles, d'ailleurs, pourront être modifiées par la suite.

Exemple. Pour donner une idée de la manière dont on exploite pour platine les fonds de coupelles imprégnées de litharge et renfermant un peu de plomb platinifère dans

(1) La litharge mêlée au tiers de son poids de sable siliceux n'attaque plus les creusets.

les fentes qui s'y forment, nous détaillerons le traitement, au moyen duquel nous avons extrait ce que pouvait contenir de précieux la grande coupelle qui a servi à toutes nos opérations :

La coupelle a été broyée, les parties imprégnées pulvérisées pesaient		kilog. 10,200
On y a ajouté verre concassé		20,000
Litharge refondue (1)		32,000
Sable siliceux		11,000
Charbon		0,240
Le tout mélangé et passé à l'appareil des deux creusets a donné : plomb platinifère		2,800
Ce plomb sur	19g,40	
Donne à l'essai : platine fondu	0g,72	
Soit pour les 10 kil. de coupelle imprégnée : platine		0,1039

B. *Traitement des scories, litharges, débris de fabrication et autres matières très-pauvres en platine.* — Nous avons songé à utiliser les procédés de fabrication du plomb en four à manches pour traiter des matières très-pauvres en platine et ne valant pas même le passage au travers de l'appareil à double creuset de la *fig.* 8 (Pl. III) : tous les fragments de creusets qui ont servi à faire nos essais de platine et qui ont été touchés par de la litharge, tous les débris de sole, de four, de briques vitrifiées par de la litharge provenant de plomb platinifère. Cette matière hétérogène, soit pulvérulente, soit concassée en morceaux de la grosseur d'une noix, a été mêlée avec son poids de verre, un peu de calcaire et de chaux fluatée et passée à un petit four à manche dont la cuve carrée (voyez Pl. III, *fig.* 12) Fusion au four à manche.

(1) Cette litharge renfermait 10 grammes d'un mélange d'argent et d'iridium ; elle provenait d'une opération déjà décrite plus haut (page 112).

avait 30 centimètres de côté. Nous ne décrirons pas ici la construction de ce four à manche, qui ressemble exactement, aux dimensions près, à ceux qui servent pour le traitement des galènes et des cendres d'orfévre. Quand on voudra en faire construire un semblable, on réduira dans les proportions convenables les dimensions des fours à manche ordinairement employés. Le vent fourni par un bon soufflet de forge était donné sans trop de ménagements, à cause du peu d'importance qu'il y a ici à volatiliser un peu de litharge ou à en passer dans les scories.

Ce four à manche nous a donné des scories à peu près dépouillées de plomb, du plomb platinifère et de la fonte de fer platinifère.

Le plomb platinifère a été coupellé avec des matières plus riches.

Fonte platinifère.

Les fontes platinifères sont très-curieuses par leur composition et à cause de ce fait remarquable que le plomb et le fer étant en contact avec du platine, celui-ci s'allie de préférence avec le platine. Cette fonte contenait :

Fonte de fer p. d.	78,4
Platine.	21,6
	100,0

Pour extraire le platine, on la mêle avec de la litharge et du sable, après l'avoir pulvérisée, car elle est très-cassante, et on la passe à l'appareil aux deux creusets (Pl. III, *fig.* 8). Voici la composition de la matière soumise à la scorification :

	Fonte.	500	1,0
	Litharge.	3250	6,5
	Sable.	750	1,5
On a obtenu :	Plomb.	1615 grammes.	
contenant	Platine.	108,1	

Le platine ainsi obtenu était singulièrement pur et doux : il contenait :

Platine p. d.	99,75
Iridium.	traces.
Rhodium.	0,25
	100,00

Il se conduisait au laminoir et à la filière comme le cuivre le plus pur et le plus ductile.

Pertes de platine dans ces opérations.

Il est résulté de cette expérience qu'en réunissant tous les matériaux qui ont servi pendant près de huit *mois à nos recherches*, matériaux enrichis par les accidents de toute sorte auxquels nous avons été exposés comme tous les praticiens, nous n'avions laissé dans nos creusets, dans nos cendres, dans nos fours, etc., que 166 grammes de platine, en opérant sur 32 kil. de minerai, 16 kil. de platine de monnaie et 8 kil. environ d'iridium impur. Et encore chacune de ces matières ayant subi plusieurs fois les mêmes traitements au commencement de notre travail et à propos d'essais infructueux, il nous est permis de considérer ces 166 grammes comme provenant du traitement de plus *de 80 kil. de platine*. Il est clair qu'un tel résultat est la conséquence des propriétés précieuses du platine et des métaux utilisables qui l'accompagnent.

Fusions en petit.

C. *Petit four à manche pour essai.* — Nous croyons devoir placer ici la description d'un petit appareil très-commode qui nous a servi à faire, sur une échelle moyenne, quelques essais sur les matières que nous avons traitées ensuite par le fourneau à manche.

On prend un creuset de 35 centimètres de hauteur et de 12 centimètres de largeur (voyez Pl. III, *fig.* 13), on tasse un peu de cendres d'os dans sa partie inférieure pour lui faire un fond plat incliné et l'on perce deux trous, l'un à l'opposé de l'autre, mais non pas sur

le même plan horizontal. L'un d'eux doit être placé juste au niveau inférieur du plan de cendres d'os, l'autre à 2 ou 3 centimètres au-dessus du premier. On fait arriver par le trou le plus élevé la buse d'un soufflet de lampe d'émailleur et l'on emplit le creuset entièrement de menu charbon de bois allumé. On donne le vent, et quand le charbon baisse, on charge alternativement avec du charbon de bois menu et avec les matières plombeuses à fondre réduites en petits fragments et mêlées grossièrement avec une forte proportion de borax. Bientôt, par le trou resté libre en face de la tuyère, on voit couler du plomb et une scorie liquide, et qui pour cela doit renfermer encore de la litharge combinée au borax fondu et en assez grande proportion. On peut avoir ainsi des scories fusibles à 400° ou 500°, qu'on recueille dans un petit creuset chaud et au fond desquelles le plomb platinifère se rassemble parfaitement. On conçoit bien en effet que la scorie soit chargée d'oxyde de plomb à cause du peu de largeur du creuset au point où le vent arrive en grande abondance par rapport au combustible à brûler et aux matières à fondre. Nous recommandons ce petit appareil aux chimistes qui s'occupent de métallurgie : il est très-commode pour les essais de ce genre. On peut encore l'employer parfaitement pour faire des attaques de silicates par les alcalis. On charge alors le silicate en petits fragments avec la quantité de carbonates de soude et de chaux nécessaire pour obtenir un verre très-fluide et soluble dans les acides. Quelques kilogrammes d'un pareil verre s'obtiennent en très-peu de temps et sans perte de matière.

Résumé. En résumé, les opérations que nous venons de rapporter se composent pour l'exploitation du platine :

1° De l'attaque sur une coupelle ou sole en terre d'os

du minerai par la galène, ce qui donne du plomb platinifère et des *crasses;*

2° De la coupellation du plomb platinifère sur cette sole même ou sur une coupelle spéciale, cette dernière s'exécutant sur la matière d'un certain nombre d'attaques;

3° Du rôtissage des lingots de platine coupellé, opération qui s'exécute à la fois sur les produits d'un certain nombre de coupellations;

4° De la fusion du platine plombifère;

5° Du traitement dans l'appareil à deux creusets des *crasses* provenant des attaques. Cette opération s'applique en une seule fois aux produits d'un grand nombre d'attaques.

6° Après une campagne, il est bon de passer au four à manche tous les débris, cendres, balayures d'ateliers, etc., contenant de la litharge, du plomb, du platine ou pouvant en contenir.

7° Enfin le même four à manche, transformé en four à révivification, pourra réduire en plomb marchand de très-bonne qualité toutes les litharges et les scories riches provenant des coupellations et des fusions dans l'appareil aux deux creusets. Ce plomb devra correspondre à très-peu près au métal contenu dans la galène employée et couvrira par sa valeur une partie des frais d'extraction du platine.

§ IV. *Fusion directe des minerais de platine.*

Nous avons donné dans notre premier mémoire (1) quelques détails sur le mode de fabrication du platine

(1) Voyez *Annales des mines*, 4e série, t. XVI, p. 489-494.

par un procédé de fusion directe qui laisse dans le métal affiné l'iridium et tout le rhodium que contient le minerai et qui en expulse le fer, le cuivre, le palladium, l'or, l'osmium et le sable. Nous avons expérimenté cette fois-ci sur une plus grande échelle et sur le minerai de l'Oural. La simplicité de ce procédé est telle, que nous avions seulement à faire une vérification des résultats déjà acquis et à constater quelques résultats numériques pour établir le prix de revient du platine ainsi obtenu.

1° *Essai du minerai.* — Dans une usine où serait établie l'extraction du platine par ce procédé, il serait essentiel d'avoir un mode d'essai expéditif fondé sur l'emploi exclusif des moyens qui servent à la grande fabrication. On peut, en effet, par la fusion directe, obtenir en moins d'une heure la teneur exacte d'un minerai en platine et iridium, en opérant comme il suit :

Essai par fusion directe.

On prend un petit four en chaux de la forme indiquée dans la *fig.* 8 de la Pl. I (t. XVI) qui accompagne notre premier mémoire, et ayant à peu près 5 à 6 centimètres de diamètre intérieur et 3 centimètres environ de profondeur ; on y introduit 100 grammes de minerai choisi au milieu de la masse dont on veut avoir la composition moyenne et qu'on mêle avec 2 à 3 grammes de chaux vive broyée et criblée en fragments de la grosseur d'un grain de millet. On y plonge la flamme du chalumeau à oxygène et gaz de l'éclairage, et on porte peu à peu la température jusqu'au maximum en donnant toujours un petit excès d'oxygène. Le minerai entre bientôt en fusion, et, s'il a été mis en tas conique juste au-dessous du dard du chalumeau, on le voit se réduire en une ou plusieurs petites masses à la surface desquelles se produit une oxydation très-vive et une

scorification très-rapide. Le fer et le cuivre brûlent et il se forme un ferrite de chaux liquide qui pénètre bientôt dans les parois du four violemment échauffées. La flamme qui sort de l'appareil et qu'il faut diriger dans une cheminée d'un bon tirage, se colore fortement par suite de la présence de l'osmium et des métaux volatils que contient le minerai. On continue la fusion jusqu'à ce que l'odeur de l'osmium ait complétement disparu, en ayant soin de rendre de temps en temps la flamme un peu réductrice pour faciliter l'expulsion de l'osmium. On laisse refroidir le four, on enlève facilement tout le platine adhérent à la voûte qu'on gratte, en faisant tomber la poussière dans un vase contenant de l'acide muriatique. On fait bouillir également avec de l'acide muriatique concentré toutes les parties du four imprégnées de scorie et qu'on pulvérise. L'acide sépare une grande quantité de silice, du titane, et dissout de la chaux, du fer, du cuivre et du chrome. On lave les globules de platine avec de l'eau, on les sèche et on les refond dans un second four un peu plus petit, où l'affinage se termine et dans lequel on trouve un *bouton de platine* iridifère arrondi : le métal doit se détacher facilement de la sole, laquelle ne doit pas être attaquée. Cette seconde fusion étant prolongée jusqu'à complet affinage, il arrive souvent que la chaux est encore imprégnée de scorie. On enlève le platine qu'elle contient et qui est adhérent à la voûte avec les précautions qui viennent d'être indiquées, on le refond une troisième fois dans un four qui doit rester complétement intact et on le pèse avec les grenailles adhérentes à la voûte.

Le plus souvent il est inutile de toucher au platine qui s'est projeté contre la voûte du four. On pose celle-ci avec précaution sur une plaque de tôle propre, afin

d'éviter de perdre quelque parcelle de platine, et on change seulement la petite sole ou partie inférieure du four dont on extrait avec soin tout le platine par la pince et par l'acide muriatique. A la dernière fusion seulement on ajoute au bouton de platine qu'on trouve sur la sole tout le platine projeté sur la voûte, qu'on racle au-dessus d'un vase contenant de l'acide. On réunit tous les globules purifiés par l'acide muriatique bouillant, et on les pèse avec le culot principal. Cette petite voûte peut servir ainsi un grand nombre de fois, aussi bien que la sole de la dernière opération. Il suffit de les conserver au milieu de petits fragments de chaux vive. Le platine obtenu doit être très-malléable, quoiqu'un peu plus dur que le platine pur ordinaire.

Bouton d'essai. Il faut avoir bien soin de laver à l'eau distillée les boutons de platine qu'on a fait bouillir avec de l'acide muriatique, parce qu'ils sont quelquefois creux à l'intérieur par suite du retrait du métal au moment de sa solidification, et de les faire chauffer jusqu'au rouge avant de les peser, pour que l'eau de lavage ne reste pas dans ces cavités.

Sa composition. En traitant ainsi le minerai n° 3 en gros grains restés sur les tamis et dont il a été question à la p. 6 de ce mémoire, on lui a trouvé une teneur en platine, iridium et rhodium, de 85 pour 100. C'est de cette manière qu'a été établie sa richesse.

Sa composition est d'ailleurs, comme on sait :

Platine.	94,7
Iridium.	5,7
Rhodium	0,3
	100,0

II° *Traitement du minerai.* — Le traitement du minerai est calqué sur le mode d'essai que nous venons

de décrire. Les vases employés sont d'ailleurs les mêmes.

A. *Première fusion.* — On se servira d'un four en chaux de la forme indiquée dans la *fig.* 7 de la planche de notre premier mémoire (*Annales des mines*, 4e série, tome XVI). On ajustera ce four sur la plate-forme à vis de pression figurée dans la planche jointe au présent mémoire (Pl. III, *fig.* 5), on mélangera le minerai avec 2 à 5 pour 100 de chaux criblée de la grosseur d'un grain de millet, et quand le four sera bien rouge à l'intérieur, on y versera ce mélange par portions de 100 à 200 grammes chaque fois et au fur et à mesure de la fusion, en l'introduisant dans le four au moyen de l'ouverture T (t. XVI, Pl. I, *fig.* 7), pratiquée dans la voûte et qu'on refermera sur-le-champ avec un bouchon taillé dans de la chaux caustique. Quand on aura ainsi fondu et en partie affiné 3 à 4 kil. de platine, on coulera le métal soit dans de l'eau pour le grenailler, soit dans une lingotière très-plate dont les parois seront faites avec du charbon de cornue. La largeur de cette lingotière devra être d'un demi-centimètre environ, pour que la plaque de platine puisse être facilement cassée ou laminée.

Four.

Fondant.

Fusion.

Coulée.

Le four étant ainsi vidé de platine, on recommence l'opération en introduisant du minerai par l'ouverture de la voûte et en fondant et affinant indéfiniment jusqu'à ce que les parois de la sole soient complétement imprégnées et corrodées par la scorie. On remplace cette sole par une autre, la voûte pouvant d'ailleurs servir fort longtemps. Le métal de première fusion ainsi obtenu est loin d'être pur, il est souvent cassant à cause du fer, du cuivre et de l'osmium qu'il retient encore. Il est composé de :

Opérations subséquentes.

Métal de 1re fusion.

Platine.	91,5
Iridium.	6,9
Rhodium	0,4
Cuivre..	0,8
Fer.	0,5
	100,1

Grenaillage du platine.

Nous avons très-souvent grenaillé du platine, et ce n'est pas une opération plus difficile que si l'on agissait sur de l'argent; il faut, pour le platine comme pour l'argent, prendre certaines précautions. Le vase en tôle dont on se sert devra avoir au moins 1 mètre de hauteur et être plein d'eau, le filet de platine fondu qu'on y verse pourra d'ailleurs être aussi volumineux qu'on voudra. Pendant cette opération, on pourra constater le dégagement d'une grande quantité de gaz facile à enflammer avec explosion au moyen d'une feuille de papier allumé. C'est un mélange d'hydrogène et d'oxygène provenant de la dissociation de l'eau. Si l'on coulait du platine dans de l'eau sous une faible épaisseur, le platine pouvant traverser sans se solidifier plusieurs décimètres d'eau, et les grenailles se soudant au fond du vase où on les reçoit, donneraient, comme nous l'avons vu souvent, une masse dure et compacte très-difficile à diviser en vue d'une seconde fusion. Bien plus les gaz explosifs pourraient s'allumer dans le sein même de l'eau, donner lieu à une explosion assez violente et occasionner des pertes de platine, comme cela nous est arrivé une fois. Les mêmes accidents peuvent se produire quand on grenaille de l'argent, et on les évite pour le platine comme pour l'argent en donnant à la colonne d'eau que traverse le métal fondu une hauteur d'un mètre au moins, comme nous l'avons recommandé plus haut.

Oxygène employé.

La dépense en oxygène dans cette première opéra-

tion est assez difficile à évaluer, d'après nos expériences, à cause de leur imperfection. Nous avions compté sur notre habitude de manier le chalumeau, habitude acquise par plusieurs années d'exercice; et malheureusement quelques mois d'interruption dans nos expériences avaient suffi pour nous l'enlever presque entièrement. On en jugera par le résultat suivant qui a été obtenu dans la première tentative que nous ayons exécutée sur les minerais envoyés par le gouvernement russe :

Diamètre intérieur du four.	14 cent.
Profondeur de la sole.	4
Minerai grossier et passé au tamis (n° 2).	3 kil.
Chaux vive en petits grains.	100 grammes.
Oxygène dépensé	823 litres.
Vitesse moyenne de l'oxygène à l'heure.	398
Oxygène pour 1 kilogramme de minerai.	235

Une seconde opération faite dans un four de même capacité nous a donné :

Minerai grossier et passé au tamis (n° 2).	3 kil.
Oxygène dépensé	561 litres.
Vitesse moyenne à l'heure	600
Oxygène dépensé pour 1 kil. de minerai.	167

La composition de l'oxygène employé dans les deux opérations et extrait du manganèse était la même. Il contenait en volumes :

Acide carbonique.	0,5
Azote.	9,1
Oxygène	90,4
	100,0

Cette seconde opération, incomparablement meilleure que la première, à cause de la moindre dépense en oxygène et surtout du degré d'affinage du platine,

doit être considérée néanmoins comme donnant encore un maximum. Si, en effet, dans le four qui était chaud après la coulée, on avait introduit de nouveau minerai, la quantité d'oxygène nécessaire pour exécuter cette seconde opération aurait été considérablement diminuée.

Cependant nous admettrons le chiffre de 200 litres par kilogramme de minerai pour établir le prix de revient de cette première fusion.

On remarquera que dans la première opération nous n'avons marché qu'avec une vitesse de 398 litres à l'heure, tandis que dans la seconde nous avons été jusqu'à 600 litres. C'est une des causes auxquelles nous attribuons la différence entre les deux consommations d'oxygène. Depuis cette expérience, nous avons toujours, dans des fours de 14 centimètres de diamètre, fait marcher l'oxygène avec une rapidité encore plus grande.

Si l'on opère sur de plus petites quantités, la dépense va, bien entendu, en augmentant. Ainsi, pour la fusion de minerai de platine, n° 2. . . . $1^k,202$

Nous avons consommé, oxygène. . .	349 litres.
Avec une vitesse de.	600 »
Oxygène pour 1 kilogramme.	290 »

La décomposition de l'oxygène était pourtant meilleure, car il contenait :

Oxygène.	94
Azote	6
	100

Ainsi, pour de plus grandes masses de platine, la consommation de ce gaz serait-elle bien diminuée.

Au surplus, la manière de conduire le feu et d'introduire le minerai influant considérablement sur des opé-

rations de cette nature qui, on le conçoit facilement, ne pouvaient être très-souvent répétées par nous : la matière nous aurait bientôt manqué, et nous devions la conserver pour des expériences qui nous paraissaient à l'avance plus douteuses dans leurs résultats et dont nous avons déjà donné la description. Ainsi, il faut peu de gaz et peu de chaleur pour commencer l'échauffement du four et du platine; il faut activer la combustion et donner le plus de chaleur possible, quand la fusion commence. Enfin, il ne faut introduire du minerai nouveau que lorsque le bain métallique est bien formé et chauffé au delà de son point de fusion.

Voilà quelques-unes des remarques que notre pratique nous permet de cousigner ici : mais il en est d'autres, un peu vagues par leur nature et dont il serait impossible de parler dans un mémoire scientifique : une expérience de quelques jours suffira pour les enseigner à un praticien intelligent.

Expulsion des fumées.

Toutes les flammes qui sortent de ces petits foyers doivent être soigneusement envoyées dans un tuyau en tôle, communiquant avec une cheminée d'un bon tirage. Les fumées pourront être recueillies de temps en temps : elles devront contenir de très-petits globules de platine, entraînés mécaniquement, dont la quantité est presque inappréciable dans chaque opération, mais qu'on retrouve intégralement à 1 ou 2 décimètres de la bouche du four, un peu d'or volatilisé, si le minerai en renferme, enfin du palladium et de l'osmium.

B. *Deuxième fusion et affinage.* — On a intérêt à ne pas compléter l'affinage du minerai de platine dans le premier four à cause de la déformation de la sole sous l'influence de la scorie, et de la plus grande difficulté qui en résulte pour maintenir toutes ses parties à la même température. Aussi vaut-il mieux couler le métal dès

qu'il est aux trois quarts affiné et surtout bien fondu dans toutes ses parties. On obtient ainsi le métal de première fusion, soit à l'état de grenaille, soit à l'état de plaques minces cassantes ou malléables, en tous cas, faciles à mettre ou en fragments ou en lames épaisses et découpées en lanières.

2e fusion et moulage.

On se sert d'un four de grand modèle dont la voûte est percée d'un trou, si l'on introduit de la grenaille, ou tout à fait pleine, si l'on a des plaques à fondre. Dans ce dernier cas, on fait entrer le platine laminé par l'ouverture placée en avant du four par laquelle sortent les flammes. On laisse bien s'échauffer le four, on y met un peu de platine qui doit être bien fondu avant qu'on en ajoute d'autre, et, le four étant rempli, on ne coule que lorsque les flammes sont sans odeur et sans couleur. Le métal est alors moulé avec les précautions qui seront indiquées un peu plus loin, à l'article de la fusion des monnaies de platine. Cette première opération doit être suivie de plusieurs autres semblables, afin de profiter de la chaleur qui a pénétré les parois du four. C'est une source d'économie considérable, qu'il faudra bien se garder de négliger dans le cours d'une fabrication régulière. On en verra l'importance à l'article auquel nous renvoyons à propos de la fusion de grandes masses de platine.

Oxygène dépensé.

Une seconde fusion de platine, opérée sur une matière mal affinée, nous a donné les résultats suivants :

	I.	II (1).
	kil.	kil.
Platine grenaillé	5,075	5,745
Quantité d'oxygène employée	946lit	1.034lit
Vitesse moyenne à l'heure	800	740
Oxygène employé pour 1 kil. de minerai.	186	180

(1) Cette seconde opération a été faite, comme la première,

Composition de l'oxygène.

	I.	II.
Azote	8,2	9,1
Acide carbonique	0,7	0,5
Oxygène	91,1	90,4
	100,0	100,0

Nous admettrons un maximum de 200 litres d'oxygène pour opérer la fusion et l'affinage définitifs du platine extrait directement des minerais.

A la suite de cette seconde opération, la sole du four doit être très-peu attaquée, le métal doit être très-malléable et propre à tous les usages auxquels on destine le platine préparé par les procédés ordinaires.

Cependant, par précaution, nous avons toujours fondu trois fois le platine allié après l'avoir laminé, et la quantité d'oxygène employé dans cette dernière opération peut être estimée à 100 litres, de sorte que, pour fondre et affiner 1 kil. de minerai, qui donne 80 p. 100 de platine, il faut de 400 à 500 litres d'oxygène au maximum.

IV° Traitement des débris de fours à fusion. — Les fours qui ont servi à la fabrication d'une grande quantité de platine et surtout à la première fusion du minerai sont fortement imprégnés de scories : leur surface est criblée de cavités souvent assez profondes, dans lesquelles un peu de matière métallique pourrait échapper aux recherches directes. On commence par enlever toutes les parties intactes de la chaux, et l'on pulvérise les parties imprégnées ou seulement celles qui sont en même temps imprégnées de scories et fis- État des fours.

avec un four froid. Nous n'avons jamais eu assez de matière pour faire plusieurs opérations de ce genre l'une à la suite de l'autre ; mais nous verrons qu'elles présentent alors une grande économie de combustible.

Lavage des scories.

surées ; on les lave à l'eau et l'on obtient une poudre pesante, composée de petits globules de platine qu'on fait bouillir avec quelques décilitres d'acide muriatique ordinaire pour en dégager toutes les matières scoriacées qui pourraient y rester attachées.

Ces scories sont composées de :

Silice,
Titane,
Sesquioxyde de fer,
Alumine,
Sesquioxyde de chrome,
Zircone,
Chaux,
Magnésie.

On n'y trouve aucune trace des métaux précieux qui accompagnent le platine. Leur dissolution dans l'acide muriatique est accompagnée souvent de la séparation d'une matière cristalline dont l'examen sera fait plus tard.

Avantages et inconvénients.

On voit que cette méthode directe est si simple, qu'on est tenté de l'adopter à l'exclusion de toute autre. Son seul inconvénient consiste dans la destruction des fours en chaux dont le prix cependant doit être considéré comme très-minime, à cause de la valeur intrinsèque très-faible de la chaux cuite et de la facilité avec laquelle cette matière se travaille, soit sur le four, soit avec les outils ordinaires, la scie, le ciseau, la mèche, les forets, etc. C'est une matière en même temps tenace et molle.

CHAPITRE II.

TRAITEMENT DES MINERAIS PAR VOIE MIXTE.

Procédé russe.

On a exposé partout et dans tous ses détails la méthode que Wollaston a introduite dans l'art de la préparation du platine ; mais on connaît moins les procédés

qu'emploie encore aujourd'hui la Monnaie de Russie. Nous allons les décrire sommairement, d'après les détails que nous devons à l'obligeance de M. Lissenko, capitaine au corps impérial des Mines de Russie.

On tamise le minerai, ou *platine brut*, comme on l'appelle à la Monnaie de Saint-Pétersbourg : les grains restés sur le tamis sont passés au mortier de fonte et pulvérisés. Plus la poudre ainsi obtenue est fine, plus l'attaque par les acides sera facile et plus la quantité d'acide nécessaire à la dissolution sera diminuée. Bocardage.

On traite ordinairement 8 à 10 pouds de platine brut (128 à 160 kil.) à la fois, et on les distribue dans de grandes capsules de porcelaine placées sur un bain de sable : les capsules sont recouvertes d'un couvercle muni de trous pour empêcher les pertes : elles contiennent chacune 5 kil. de platine brut sur 8 kil. d'eau régale faite avec 1 partie d'acide nitrique à 35° Baumé et 3 parties d'acide muriatique à 20°. Dans les premiers moments la réaction s'établit d'elle-même, et la dissolution s'effectue à froid ; mais bientôt il faut chauffer, ce que l'on fait pendant trois jours consécutifs, depuis 6 heures du matin jusqu'à 8 heures du soir. La première eau régale est alors épuisée, on décante la dissolution de platine, on lave le résidu avec un peu d'eau, et l'on verse une nouvelle quantité d'eau régale dans les capsules : quand l'acide est encore saturé, on le remplace par de l'eau régale fraîche, jusqu'à ce que celle-ci ne dissolve plus rien. Ce procédé d'attaque nous semble inférieur à celui qui est adopté aujourd'hui en France et en Angleterre, et qui consiste à placer l'acide dans un pot de terre cylindrique, fermé à sa partie supérieure par un couvercle percé de deux trous munis de tubes : par l'un on verse l'acide, par l'autre s'échappent les vapeurs nitreuses chargées d'a- Dissolution.

cide osmique qui sont très-dangereuses, et qui doivent être rejetées hors de l'atelier avec le plus grand soin. Le platine est distribué sur une série d'assiettes en porcelaine percées à leur centre d'un trou au moyen duquel on les superpose parallèlement à elles-mêmes le long d'un axe en porcelaine, de manière à donner à l'appareil entier la forme d'un guéridon à plusieurs étages.

Précipitation par la chaux.

Quand on a épuisé entièrement le minerai, on réunit toutes les dissolutions acides, qui pèsent ordinairement de 50 à 55° à l'aréomètre de Baumé. On les étend avec de l'eau chargée de chlorure platinico-calcique provenant du lavage des dépôts de l'opération suivante, jusqu'à ce qu'elles marquent 35° Baumé. On y verse alors une quantité de lait de chaux telle, que la liqueur reste très-faiblement acide. Quand on neutralise la liqueur ou qu'on la rend alcaline, avec les oxydes de fer ou de cuivre, on précipite une notable quantité de platine; mais le métal dissous doit être évidemment plus pur.

Le dépôt produit dans la dissolution contient l'iridium, le rhodium, le fer, le cuivre et une partie du palladium à l'état d'oxydes : la dissolution elle-même renferme un peu de palladium et des traces des métaux du platine, mais surtout du chlorure platinico-calcique.

On recueille le dépôt sur des filtres en drap et on les lave avec de l'eau froide. Ces eaux de lavage servent, comme nous l'avons déjà dit, à étendre les dissolutions de platine brut qui pèsent 50 à 55° Baumé, avant de les traiter par la chaux.

Evaporation des eaux platinifères.

On évapore le chlorure platinico-calcique dans des capsules de porcelaine jusqu'à le réduire à la moitié de son volume et on le transporte dans des casseroles de

platine où on l'amène à sec. Le sel solide ainsi obtenu est concassé en petits fragments et calciné dans un moufle jusqu'à décomposition complète du sel de platine. A la sortie du moufle, cette masse de platine et de chlorure de calcium est pulvérisée et lavée avec de l'eau froide d'abord, puis avec un peu d'acide muriatique, jusqu'à ce qu'on l'ait entièrement dépouillée de tout le sel calcaire qu'elle renferme. Mousse calcaire.

La mousse de platine ainsi préparée est soumise à l'action de la presse hydraulique et calcinée jusqu'au blanc dans des capsules de terre réfractaire. Enfin on la forge au marteau, en chauffant le métal de temps en temps dans un foyer alimenté par le charbon de bois. Le platine russe obtenu par ce procédé n'est pas très-pur; on en trouvera l'analyse un peu plus loin, à l'article qui concerne la monnaie de Russie. Ce métal n'est pas non plus d'une qualité irréprochable, et les ustensiles de chimie qu'on fabrique avec cette matière ne valent pas les vases de platine d'origines française et anglaise. Purification et travail des mousses.

Les précipités formés par le lait de chaux contiennent encore du platine, comme nous l'avons dit: on les traite par l'acide sulfurique, qui en sépare du sulfate de chaux. Dans la liqueur filtrée, on met du sel ammoniac, qui sépare du sel jaune ou chlorure ammoniaco-platinique, que l'on calcine : le platine qui en résulte est aggloméré avec le métal provenant de l'opération précédente. Traitement des dépôts.

La liqueur dont on a séparé le jaune de platine est traitée par le fer métallique, qui, avec le cuivre, précipite les métaux précieux de la mine, c'est-à-dire le palladium, le rhodium, l'iridium et un peu de platine. Le précipité, lavé à l'acide sulfurique, qui dissout un peu de fer, et, avec le concours de l'air, du cuivre,

laisse une poudre métallique que, dans notre premier mémoire, nous avons appelée *résidus précipités*. On en trouvera l'analyse à la page 95, tome XVI des *Annales des mines*, 4e série. On les traite par l'eau régale, qui dissout un peu de platine et de l'iridium. La solution concentrée et mêlée avec du sel ammoniac donne un précipité de couleur foncée, qui, calciné, se change en un mélange d'iridium et de platine. Ce mélange, mis en digestion avec de l'eau régale faible, laisse dissoudre un peu de platine. La solution est traitée, comme celle du platine brut, par le lait de chaux, ainsi qu'il a été dit plus haut.

Iridium.

Quant à l'iridium, ou plutôt l'oxyde d'iridium, dont il va être question un peu plus loin, on l'extrait des résidus de la première opération, ou osmiure d'iridium, par le procédé de M. Wöhler, qui est trop connu pour que nous ayons à le décrire ici.

Avantages et inconvénients.

Dans le procédé russe, on évite la précipitation du platine à l'état de jaune de platine ou chlorure ammoniaco-platinique, lequel n'est pas assez insoluble pour qu'on puisse espérer d'enlever par le sel ammoniac seul tout le platine qui a été dissous par l'eau régale, mais aussi l'on sépare avec moins de perfection les matières métalliques étrangères au platine, à moins de s'exposer à en perdre. C'est ce qui fait qu'il est bien plus difficile d'obtenir de bon platine par ce procédé que par la méthode de Wollaston.

Principes de la méthode nouvelle.

Procédé mixte. — Nous avons songé à appliquer un procédé nouveau très-expéditif, pouvant donner du platine d'une très-grande pureté, et qui nous paraît plus économique qu'aucune des méthodes par voie humide qui aient été proposées jusqu'ici. Il est fondé sur l'attaque des minerais par l'eau régale, l'évaporation et la décomposition des chlorures par le feu, enfin la sé-

paration par un simple lavage du platine réduit et de tous les métaux qui l'accompagnent, lesquels sont restés à l'état d'oxydes. Nous commencerons la description de cette méthode en donnant d'abord le mode d'essai des minerais de platine qui lui correspond.

1° *Essai des minerais par la voie mixte.* — On pèse 50 grammes de minerai qu'on dissout dans l'eau régale. On sépare la liqueur acide, par décantation, d'un dépôt métallique non attaqué, composé de sable et d'osmiure d'iridium. On lave ces osmiures, qui sont très-légers, sur un filtre qu'on sèche et dont on détache avec soin toutes les lames métalliques et non adhérentes d'osmiure d'iridium. On brûle le filtre, on ajoute ses cendres à l'osmiure d'iridium mélangé de sable qu'on pèse. Dissolution.

Les chlorures métalliques sont mêlés avec 10 à 12 grammes d'acide sulfurique concentrés, évaporés à sec dans un creuset de porcelaine et séchés à l'étuve vers 120 à 150°. On enferme le creuset de porcelaine dans un creuset de terre, on garnit de leur couvercle ces deux creusets qu'on dispose dans un fourneau empli de charbon de bois non allumé. On met le feu par la partie supérieure, et l'on fait rougir peu à peu et pendant quelque temps tout l'appareil. Lorsqu'il est refroidi, on retire le creuset intérieur et on le pèse avec ce qu'il contient. Évaporation. Calcination

Ce creuset contient du platine brillant et très-dense, absolument semblable à du minerai de Colombie; c'est du platine parfaitement pur : il renferme, en outre des oxydes d'iridium, de rhodium, qui n'ont pas été chauffés à une température assez élevée pour les réduire, du palladium, des oxydes de fer et de cuivre. On lave rapidement toutes ces matières, comme on ferait pour le minerai. Les oxydes se mettent en suspension et sont Lavage du platine.

enlevés par l'eau : le platine reste dans le creuset ; on le pèse dans ce creuset même, et la différence entre ce poids et celui qu'on a pris avant le lavage donne la proportion des oxydes métalliques et la proportion du platine, si l'on connaît la tare du creuset.

Traitement des oxydes. On laisse déposer les oxydes dans l'eau de lavage, on les traite par l'acide sulfurique moyennement concentré qui dissout le fer et le cuivre et des traces d'iridium ou de rhodium; on pèse ce résidu insoluble qui donne le poids des oxydes de rhodium et d'iridium. En retranchant ce poids du poids total des oxydes, on a la proportion des oxydes de fer et de cuivre contenus dans le minerai. On détermine le cuivre directement par une lame de fer ou de zinc que l'on plonge dans la dissolution sulfurique ou bien par l'hydrogène sulfuré.

On trouverait le palladium en faisant bouillir le platine avec de l'acide nitrique concentré, le pesant avant et après cette opération. Le plus souvent on pourra se contenter, comme nous l'avons fait, de doser seulement le platine ainsi obtenu par lévigation.

Exemples. Nous avons trouvé pour le minerai criblé n° 3 :

	I.	II.
Platine	78,9	79,0
Iridium	2,0	
Sable et osmiure d'iridium	1,9	3,1
Cuivre et fer, palladium p. d.	17,2	
	100,0	

Le minerai tamisé n° 2 nous a donné par la même méthode :

Platine	78,5
Fer	11,2
Cuivre	1,2
Osmiure et sable	2,0
Palladium, rhodium, iridium, p. d.	7,1
	100,0

Le platine obtenu par lavage a été analysé par dissolution dans l'eau régale qui a laissé un résidu très-faible d'oxyde d'iridium ayant échappé à l'action de l'eau et qu'on voyait du reste encore en petites paillettes noires au milieu des grains de platine; celui-ci une fois dissous a été précipité par le sel ammoniac et l'alcool : le chlorure double était d'un beau jaune et absolument pur. Nous avons obtenu ainsi : Pureté absolue du platine.

Oxyde d'iridium	0,6
Platine.	98,8
	99,4

Cette matière en petits grains d'une grande densité, introduite dans nos fours à la manière du mineral, nous a donné, après une première fusion, du platine d'une mollesse et d'une ductilité telles, qu'il ne pouvait, sous ce rapport, être comparé qu'à l'argent. C'est l'échantillon de platine le plus pur que nous ayons jamais eu entre les mains. Dissolution.

II° *Appareils pour le traitement en grand par cette méthode.* — La dissolution se fait dans les appareils ordinaires; il vaudrait mieux se servir de vases en alliage de platine et d'iridium (1) contenant 25 à 30 p. 100 d'iridium, tels qu'ils sont fabriqués par MM. Desmoutis, Chapuis et Quennessen, et qui résistent parfaitement à l'action de l'eau régale, quand, après les premiers contacts avec l'acide, ils ont été martelés à plusieurs reprises. Ils se couvrent ainsi d'un alliage de

(1) Ces vases permettraient de dissoudre le mineral sous la pression de 1 ou 2 mètres d'eau, ce qui, d'après les expériences récemment publiées, facilite considérablement l'attaque et diminue la quantité d'eau régale nécessaire à la dissolution complète du mineral.

platine et d'iridium complétement inattaquable une fois ces précautions prises. M. Quennessen, qui nous a communiqué ce renseignement, attribue même la résistance absolue de ces vases à une couche d'iridium pur qui se serait formée à leur surface après la dissolution du platine. Quoi qu'il en soit, une fois le minerai attaqué, on sépare l'osmiure d'iridium par la décantation et l'on évapore lentement le chlorure de platine et des métaux qui l'accompagnent jusqu'à obtenir un commencement de décomposition. La poudre rouge ainsi obtenue est calcinée au rouge dans un grand creuset en terre ou en platine fermé, muni d'un col fixé sur la partie supérieure de ses parois et qui mène les gaz dans une cheminée, en retenant les poussières fines d'oxyde et de chlorure de fer qui sont entraînées quelquefois assez loin. On pourrait craindre qu'avec elles ne disparût aussi quelque parcelle des métaux précieux, tels que l'iridium et le rhodium, qu'on aura plus tard intérêt à rechercher avec les oxydes de fer et de cuivre. Une fois cette calcination opérée, on porte la poudre de platine dans une sébille et on la lave à la manière de l'or ou du minerai de platine lui-même. La poudre dense et brillante de platine pourrait être réunie par la compression; il vaut mieux la fondre immédiatement, ce qui est toujours moins coûteux et très-facile à cause de sa densité considérable.

Calcination des chlorures.

Lavage du platine.

Dissolution des métaux communs.

Traitement des oxydes. — Les oxydes légers sont recueillis, mis en pâte avec de l'acide sulfurique concentré et chauffés à près de 300° ; le fer, le cuivre, un peu de palladium, se dissolvent, et il reste de l'iridium et du rhodium mélangés qu'on calcine fortement dans un creuset de charbon de cornue entouré d'un creuset de terre, pour ramener les oxydes à l'état métallique et leur donner une grande compacité, ce qui

est un avantage dans les opérations auxquelles on doit les soumettre. En effet, ce qu'il y a de mieux à en faire, c'est de les mêler par fusion au platine pour obtenir des alliages qui sont manifestement préférables au métal pur.

III° *Essais à tenter pour obtenir par voie sèche du platine chimiquement pur.* — Si l'on avait intérêt à obtenir du platine chimiquement pur, il faudrait coupeller du platine plombifère, contenant du rhodium et de l'iridium à une température très-élevée. On sait, d'après ce que nous avons déjà dit, que le platine s'agglomère en choux-fleurs métalliques, tandis que l'iridiate de plomb et l'oxyde de rhodium se séparent sous la forme d'une poudre noire cristalline, qu'il est très-facile d'enlever au platine par un lavage fait à l'eau et avec la brosse; on détache ainsi tout l'iridiate de plomb qui pourrait adhérer en quelques points au métal. Ordinairement cette adhérence n'a pas lieu; il suffit de retourner la coupelle pour faire tomber tout l'iridiate de plomb. Procédé par voie sèche.

L'oxyde de rhodium et l'iridiate de plomb pourraient être utilisés simplement en les ajoutant au platine que l'on veut fondre et transformer en alliages. L'oxyde de plomb se volatilise, les oxydes des métaux précieux se réduisent et se dissolvent dans le platine à la température développée dans les fours en chaux.

Cette méthode que nous esquissons ici, nous n'avons pas pu l'étudier d'une manière sérieuse, faute de matériaux suffisants. Mais avec les détails que nous avons donnés déjà à propos de la coupellation du plomb platinifère et des appareils que nous avons décrits, rien ne serait plus facile que de faire les essais qui doivent précéder une exploitation métallurgique. Nous pensons que les coupellations devraient être

faites dans des moufles chauffés violemment à la flamme, sur des coupelles en cendres d'os et en employant des alliages très-peu fusibles et par conséquent déjà très-riches en platine.

(La suite à la prochaine livraison.)

RECHERCHES

DE L'AZOTE ET DES MATIÈRES ORGANIQUES DANS L'ÉCORCE TERRESTRE.

Par M. DELESSE.

Les matières organiques sont très-répandues dans l'écorce terrestre; elles constituent quelquefois des minéraux et des roches, comme le succin, le lignite, la houille; en outre, elles existent en quantité plus ou moins notable, non-seulement dans les corps organisés fossiles, mais encore dans des substances minérales très-variées, telles que la terre végétale, l'argile, la marne, le trapp. § 1. But de ces recherches.

Il m'a paru, d'après cela, qu'il serait intéressant de rechercher les matières organiques dans les roches qui forment l'écorce terrestre, et c'est le but que je me suis proposé dans ce mémoire.

Je considérerai d'abord les divers éléments qui composent les roches. Ces éléments peuvent être soit des corps organisés, les animaux et les végétaux, soit des corps inorganisés, les minéraux.

Les corps organisés, par cela même qu'ils contiennent plus spécialement des matières organiques, seront examinés en premier lieu. Ils seront choisis de manière à représenter les principales espèces d'êtres; en outre, ils seront pris uniquement à l'état fossile et dans toute la série des terrains, depuis les plus anciens jusqu'aux plus modernes.

Les minéraux seront ensuite passés en revue; ils seront choisis dans des conditions variées de gisement et d'origine.

Enfin les roches elles-mêmes seront étudiées en dernier lieu, et je considérerai successivement les roches non stratifiées et les roches stratifiées.

Les recherches entreprises comprendront particulièrement l'examen des produits de la distillation et le dosage de l'azote. Cette dernière opération qui peut s'exécuter avec une très-grande précision, donne un moyen simple pour reconnaître et évaluer les matières organiques, lors même qu'elles n'existent qu'en très-petite quantité. Le dosage du carbone serait aussi très-intéressant, surtout comme contrôle, et je me propose d'en faire l'objet d'un travail ultérieur.

Avant de faire connaître les résultats obtenus, il est nécessaire d'appeler l'attention sur quelques propriétés des substances minérales, pouvant faire varier leurs matières organiques.

PRÉAMBULE.

§ 2. Les matières organiques sont modifiées par l'atmosphère.

Lorsque l'atmosphère est en contact avec les roches, elle n'est pas inerte, comme on serait tenté de le croire : son action est faible et lente, mais continue, et par suite très-importante à signaler.

Elle s'exerce sur toute espèce de roches, et plus spécialement sur celles qui sont riches en matières organiques, comme les terres végétales ou les combustibles. A la faveur de l'humidité, ces matières organiques sont décomposées. Le carbone éprouve une combustion lente et donne de l'acide carbonique; l'hydrogène et l'oxygène de l'eau; l'azote se dégage à l'état libre et se change surtout en ammoniaque. Il se forme aussi des hydrogènes carbonés, du grisou, et, indépendamment de ces produits gazeux, d'autres composés plus complexes.

L'action de l'atmosphère sur les roches est surtout

bien manifeste dans les mines; car, dès que l'air ne s'y renouvelle plus facilement, il ne tarde pas à être irrespirable; par suite des gaz qui s'exhalent, il peut même devenir explosif. C'est ce qu'on observe, non-seulement dans les mines de houille, mais encore dans des carrières ou dans des mines métalliques qui ont été abandonnées.

Les roches contenant des matières organiques sont en définitive susceptibles d'une sorte d'inhalation. L'atmosphère tendant à faire varier les matières organiques, dans les recherches qui nous occupent, il conviendra donc d'opérer autant que possible sur des roches extraites fraîchement et prises à une certaine profondeur au-dessous du sol.

§ 2. Absorption de diverses substances.

Les expériences de Huxtable, Way, Thompson, J. Liebig, Brustlein, W. Henneberg et F. Strohman (1), ont appris, d'un autre côté, que les roches et en particulier les terres végétales absorbent facilement diverses substances, surtout lorsque ces dernières sont en dissolution.

Les argiles manifestent cette propriété à un degré remarquable; elles l'exercent sur les matières organiques, sur les chlorures, sur les nitrates, sur les phosphates, sur les sels en général et même sur les gaz.

Les argiles rouges connues sous le nom d'*ocre bed*, qui, à la Chaussée des Géants, proviennent de roches trappéennes décomposées, absorbent le sel marin et le chlorure de magnésium qui sont entraînés dans l'atmosphère par l'évaporation de l'eau de mer; elles s'en chargent même assez pour devenir ensuite fortement déliquescentes lorsqu'elles sont mises dans les collections.

4. Absorption d'azote et d'ammoniaque.

Avant de déterminer l'azote des roches, il était donc utile de rechercher quelle est la proportion d'azote qu'elles peuvent absorber. Cet azote provient soit de

(1) *Jahresbericht der Chemie*, von Hermann Kopp and H. Will, 1858, p. 496, 503.

l'ammoniaque, soit des matières organiques azotées qui existent dans l'atmosphère et dans les eaux.

M. Boussingault a déterminé quelle est, sous ce rapport, l'influence de l'atmosphère. Il a constaté, qu'après sept semaines, 500 grammes de sable mélangés à 10 grammes d'acide oxalique avaient absorbé seulement 0,0013 d'azote dont une partie était à l'état d'ammoniaque. Bien que la proportion d'azote qui a été retenue soit ici beaucoup plus grande que d'habitude à cause de l'acide oxalique, on voit qu'elle reste très-faible. On peut craindre, il est vrai, qu'elle n'augmente beaucoup avec le temps; toutefois cela n'a pas lieu; car l'expérience montre que certaines roches exposées depuis un temps indéfini à l'action des eaux et de l'atmosphère ne contiennent pas d'azote ou seulement des traces indosables.

Pour contrôler ces résultats, il était bon de rechercher quelle est la proportion d'azote que retient une terre imbibée d'ammoniaque. J'ai d'abord opéré sur une argile plastique des environs de Paris, ayant une couleur gris noirâtre; elle a été arrosée avec de l'ammoniaque, puis simplement desséchée à l'air pendant plusieurs jours; sa proportion d'azote était de 1,03 p. 1.000, et comme on le verra plus loin, elle dépassait seulement de quelques dix-millièmes la proportion normale. Un sable quartzeux traité de la même manière ne renfermait plus, après dessiccation, que des traces d'ammoniaque.

Au moment où l'on versait l'ammoniaque sur l'argile, il se produisait une élévation de température tenant, soit à ce que l'alcali s'emparait en partie de l'eau de l'argile, soit à des actions moléculaires comme celles qui ont été signalées par M. Pouillet (1); et après l'évaporation de l'ammoniaque, cette argile avait éprouvé une perte de poids de 1,4 p. 100.

(1) Pouillet. *Traité de physique*, 4e édition, t. II, p. 553.

Toujours est-il qu'une terre imbibée d'ammoniaque, puis desséchée, ne retient qu'une proportion extrêmement faible de cet alcali, même lorsqu'elle est argileuse.

Du reste, les recherches faites récemment par MM. Payen et Brame ont montré qu'il est désavantageux d'employer dans les fermes la marne comme litière pour les bestiaux, parce qu'elle laisse perdre l'ammoniaque dans l'atmosphère à mesure qu'elle se produit. En outre, M. J. Liebig a fait voir que les argiles absorbent l'ammoniaque à la manière des corps poreux, mais sans donner lieu à une combinaison (1).

§ 5. Imbibition d'eau.

Il m'a paru intéressant de comparer aussi la proportion d'eau et de matières organiques qui peut imbiber diverses substances minérales.

J'ai d'abord opéré sur quelques substances en fragments. Elles étaient pesées et mises dans de l'eau distillée qui était chauffée. On essuyait ensuite leur surface et on déterminait leur augmentation de poids (2).

N° 3	*Marbre* très-compacte..	0,05	N° 8	*Schiste houiller*....	2,85
	Calcaire caverneux...	3,20	18	*Écume de mer*.....	91,15
7	*Schiste ardoisier*.....	0,19	20	*Granite*.........	0,06

On voit que l'eau imbibe très-légèrement le marbre, le granite, l'ardoise, c'est-à-dire les substances compactes et pierreuses qui ne sont pas susceptibles de se délayer dans l'eau. Mais un calcaire caverneux, comme celui qu'on appelle la roche, prend 3,20 d'eau. Le schiste houiller, qui est déjà une roche argileuse, s'imbibe de 2,85. Quant à l'écume de mer qui augmente de plus des 9 dixièmes de son poids, elle est extrêmement poreuse; de plus, elle se gonfle et elle se ramollit dans l'eau pour laquelle elle a une affinité toute spéciale.

Si l'on considère maintenant des substances pulvé-

(1) *Jahresbericht ueber die Fortschritte der Chemie*, von J. Liebig und Hermann Kopp, 1855, p. 877.

(2) Les substances sur lesquelles on a opéré sont décrites sous les mêmes numéros dans le tableau de la page 157.

risées, il est facile de comprendre que le liquide restera interposé entre leurs parcelles, en sorte que l'imbibition sera toujours beaucoup plus plus grande. Pour déterminer cette imbibition, j'ai suivi la méthode de Schübler. On pesait 10 à 20 grammes de la substance minérale pulvérisée qui était mise dans l'eau et jetée sur un filtre; on la pesait une seconde fois quand elle était encore humide, et lorsque l'écoulement de l'eau avait complétement cessé; on retranchait d'ailleurs du poids obtenu celui de filtre humide. On avait ainsi le poids de l'eau qui imbibait la substance minérale.

On a déterminé, en procédant de la même manière, le poids d'huile d'olive pure qui imbibait également cette substance.

La proportion d'un liquide qui imbibe une substance dépend, non-seulement de la petitesse de ses pores, mais encore de la finesse de son grain. Pour avoir des résultats bien comparables, il faudrait donc que le grain fût le même pour toutes les substances essayées, ce qui est très-difficile à obtenir. Il est surtout très-important de tenir compte de l'état du grain quand on opère avec l'huile; car elle est absorbée assez difficilement et avec une grande lenteur; j'ai constaté, en effet, que, suivant qu'une argile est en fragments ou en poudre, la proportion d'huile peut varier du simple au double et même au delà.

Il convient d'observer aussi que l'huile adhère fortement à la substance de laquelle elle s'écoule d'une manière incomplète.

D'un autre côté, la détermination relative à l'eau est également assez incertaine, parce qu'il est difficile de voir quand l'écoulement a complétement cessé, et à partir de ce moment une partie de l'eau d'imbibition s'évapore.

On comprend, d'après ces dernières remarques, que

les résultats obtenus doivent être seulement *approximatifs*; ils sont d'ailleurs résumés dans le tableau suivant :

Imbibition des diverses substances par l'eau ou par l'huile.

Numéros d'ordre.	DÉSIGNATION DES SUBSTANCES.	Eau (imbibant 100 parties.)	Huile (imbibant 100 parties.)	Rapports.
1	*Anhydrite* blanche saccharoïde, employée comme marbre; des Alpes du Dauphiné. .	18	34	0,5
2	*Gypse* blanc et cristallisé du Mont-Mesly. . .	26	43	0,6
3	*Marbre* gris brunâtre, très-compacte, de Boulogne-sur Mer.	17	19	0,9
4	*Calcaire lithographique* un peu schisteux du terrain jurassique de Solenhofen.	25	29	0,9
5	*Craie* de Meudon débarrassée de son sable et façonnée en pain	41	69	0,6
6	*Sable quartzeux*, pur et très fin de Rilly. . . .	29	30	1,0
7	*Schiste ardoisier* gris noirâtre avec empreinte de trilobites d'Angers.	31	28	1,1
8	*Schiste* noirâtre avec empreintes végétales du terrain houiller.	36	27	1,3
9	*Kaolin* blanc, non lavé, de Bavière.	41	52	0,8
10	*Kaolin* d'un beau blanc, non lavé, contenant quelques grains de feldspath.	57	57	1,0
11	*Argile* bigarrée, blanche et rouge, du terrain néocomien de Saint-Georges	40	38	1,1
12	*Argile* diluvienne brune sableuse, formant la terre végétale, à Bagneux	54	31	1,7
13	*Argile* diluvienne brunâtre, sableuse formant la terre végétale sur le plateau de Villejuif.	55	32	1,7
14	*Argile* smectique, vert jaunâtre, magnésienne, très-onctueuse; de Roswein, en Saxe. . . .	77	36	2,1
15	*Argile* plastique, grisâtre et marbrée, de Vaugirard.	79	42	1,9
16	*Argile* smectique (*Fuller's earth*), maigre, vert-jaunâtre, du terrain néocomien de Nutfield, près Reigate.	133	32	4,2
17	*Argile* feuilletée, magnésienne, happant très-fortement à la langue, du terrain du gypse parisien; plâtrière de l'Amérique.	180	115	1,6
18	*Ecume de mer* blanche, très-légère, happant très-fortement à la langue.	201	145	1,4
19	*Marne* gris bleuâtre, avec trochus; du lias supérieur, de Pinperdu dans le Jura.	45	41	1,1
20	*Marne* smectique, gris violâtre, très-argileuse; de Libstadt en Prusse.	54	37	1,5
21	*Marne* grisâtre, avec phosphate de chaux, très-recherché en agriculture, de Castelnaudary.	70	66	1,1
22	*Marne* verte, plastique, très argileuse, qui recouvre le terrain du gypse, de Pantin. . . .	81	51	1,6
23	*Marne* smectique, blanchâtre, marbrée, dite *pierre à détacher*, entre la deuxième et la troisième masse de gypse: à Pantin.	92	86	1,1
24	*Stéatite* très-douce au toucher et en petites lamelles blanchâtres de Briançon.	17	25	0,7
25	*Porphyre* rouge quartzifère du Morvan. . . .	28	31	0,9
26	*Granite* bien compacte, tenace, un peu amphibolique de Sainte-Marie-aux-Mines. . .	27	28	1,0

L'examen du tableau précédent montre que l'imbibition de différentes substances minérales dépend non-seulement de leur état physique, mais encore de leur composition. En outre, elle dépend aussi de la nature des liquides absorbés.

Elle est faible lorsque les substances absorbantes sont compactes; elle augmente lorsqu'elles deviennent poreuses. Elle est surtout très-grande pour les substances qui sont formées de parcelles microscopiques et susceptibles de se délayer, comme les argiles, les marnes, la craie, le tripoli.

Ces résultats s'expliquent très-bien par la capillarité, par l'adhérence et par des effets physiques; toutefois, lorsqu'on fait varier la substance et le liquide, les différences observées peuvent aussi être dues à des effets chimiques.

Considérons d'abord l'imbibition par l'eau. On voit que les substances minérales les plus compactes, comme le marbre, l'ardoise, le granite, qui s'imbibent à peine d'une quantité d'eau appréciable, lorsqu'elles sont en fragments peuvent en retenir jusqu'au tiers de leur poids lorsqu'elles sont pulvérisées. Pour l'écume de mer, la différence est beaucoup moindre; cependant l'imbibition est environ moitié dans les fragments de ce qu'elle est dans la poudre. Enfin pour les argiles, comme pour toutes les substances qui se délaient dans l'eau, la différence serait nulle.

Lorsque les substances minérales sont pulvérisées, l'imbibition par l'eau paraît ne pas être inférieure à 15 centièmes, même dans les roches compactes et pierreuses.

Elle est de 17 dans la stéatite; mais elle s'élève à 27 dans le porphyre et même dans le granite. Il est remarquable qu'elle soit aussi grande dans des roches cris-

tallines et feldspathiques qui ne sont aucunement kaolinisées.

L'imbibition n'est que de 17 dans le marbre pulvérisé, tandis que dans la craie qui se délaye dans l'eau, elle atteint 41.

Dans le sable quartzeux fin, elle est à peu près de 30; elle dépend d'ailleurs de la grosseur de son grain.

Dans le tripoli schisteux, qui est en partie formé de carapaces d'infusoires et de silice en parcelles microscopiques, elle serait beaucoup plus considérable.

Dans le *schiste*, dans l'ardoise, dans l'argilite, l'imbibition est au moins de 30 centièmes lorsque ces substances ont été pulvérisées; mais dans les argiles proprement dites et dans les marnes, elle dépasse 40 et elle peut être bien supérieure. Dans les marnes, elle présente d'ailleurs les mêmes variations que dans les argiles et les calcaires crayeux; elle dépend à la fois de la proportion et de la nature de ces deux éléments des marnes.

L'imbibition est d'autant plus grande que les roches happent plus fortement à la langue; ainsi elle s'élève à 57 dans le kaolin non lavé, à 79 dans l'argile plastique des environs de Paris, à 92 dans la *pierre à détacher* du terrain de gypse; elle atteint 133 dans l'argile de Reigate et même 180 dans l'argile magnésienne feuilletée. Cette argile est d'ailleurs très-avide d'eau et elle s'en empare avec bruit; plusieurs de ses propriétés la rapprochent de la roche que M. Naumann a nommée *Saugschiefer* ou *Klebschiefer*, laquelle est un tripoli schisteux formé de carapaces d'infusoires, plus ou moins mélangé d'argile et d'opale.

Enfin, pour l'écume de mer, qui est une argile magnésienne pure, l'imbibition s'élève jusqu'à 201, et par conséquent elle est double du poids primitif.

On peut observer que les argiles faisant une pâte

maigre, et en particulier les argiles magnésiennes sont généralement celles qui absorbent le plus d'eau.

Parmi les substance dont l'imbibition est très-grande, mentionnons encore l'humus pour lequel Schübler a trouvé qu'elle est égale à 190.

§ 6. Imbibition d'huile.

Si l'on compare maintenant l'imbibition d'huile dans les mêmes substances, elle est tantôt supérieure, tantôt inférieure à celle qui a été trouvée pour l'eau.

Elle est supérieure dans le gypse, l'anhydrite, les calcaires, la stéatite, le porphyre, le granite; elle est inférieure dans certains kaolins, dans les argiles, les schistes et les roches argileuses. Dans les marnes formées d'un mélange de calcaire et d'argile, elle est supérieure ou inférieure suivant leur composition.

L'imbibition par l'huile ne descend guère au-dessous de 20; elle peut dépasser le poids de la substance. Elle est surtout grande pour les substances qui se gonflent ou qui deviennent plastiques avec l'huile, comme la craie, la marne, le kaolin, l'argile et particulièrement l'argile feuilletée magnésienne, ainsi que l'écume de mer.

Dans le kaolin, l'imbibition d'huile peut être double de ce qu'elle est dans le granite pulvérisé; dans la craie, elle est plus que triple de ce qu'elle est dans le marbre, même lorsqu'il est pulvérisé. Avec l'huile, comme avec l'eau, une division extrême de la substance augmente donc beaucoup la proportion de liquide qui peut l'imbiber.

Le sulfate de chaux à l'état de gypse ou d'anhydrite manifeste quelque affinité pour l'huile. C'est du reste ce qui explique pourquoi le gypse uni à des matières grasses est avantageusement employé dans l'industrie. Comme exemple, je citerai le gypse du mont Mesly qui est cristallin, très-pur et d'un blanc d'albâtre. Sa poudre

s'introduit dans plusieurs couleurs à l'huile, notamment dans le blanc de zinc et dans le jaune de chrôme. On le mélange aussi aux graisses grossières avec lesquelles on fait le cambouis pour les voitures, et il sert à les rendre plus épaisses.

Le marbre, le sable quartzeux, l'ardoise, la stéatite, le porphyre, le granite et les roches feldspathiques, retiennent une proportion d'huile qui est assez faible et qui reste inférieure à 35. Elle diffère peu de celle obtenue pour l'eau.

La marne du terrain de gypse qui est connue sous le nom de *pierre à détacher* est assez remarquable par son avidité pour l'huile; car elle en prend 86. Cette propriété justifie l'usage qu'on fait de cette marne pour dégraisser les étoffes; mais elle ne se retrouve pas, à beaucoup près, à un degré aussi marqué dans les autres substances employées au même usage. Ainsi, quoique le talc, notamment celui de la Vénétie, serve également à dégraisser les étoffes, la stéatite, qui est une variété de talc compacte, absorbe une proportion d'huile qui est seulement de 25.

La même remarque s'applique encore aux *terres à foulon;* car pour celles de Roswein, de Libstadt et de Reigate, desquelles on se sert en Allemagne et en Angleterre, la proportion d'huile absorbée ne dépasse pas 37; elle est donc bien inférieure à celle qui a été trouvée pour la craie et pour la plupart des argiles, notamment pour l'argile plastique.

Les argiles absorbent toutes, plus ou moins, les matières grasses; mais on emploie particulièrement, comme *terres à foulon*, celles qui sont onctueuses et qui fontune pâte maigre avec l'eau. Ces dernières sont habituellement très-hydratées et contiennent de l'oxyde de fer ou de la magnésie. Cependant cela n'a pas tou-

jours lieu, notamment pour celle de Vire, qui est très-employée dans tont l'Ouest de la France (1). Elles peuvent aussi être plus ou moins marneuses et mélangées avec du carbonate de chaux ou de magnésie. La composition des *terres à foulon* est donc très-variable. On choisit d'ailleurs spécialement celles qui sont homogènes et qui ne renferment pas de grains de sable ; enfin celles qui s'exploitent avec facilité et économie.

Les *terres à foulon* absorbent plus d'eau que d'huile et même elles s'imbibent d'une proportion de cette dernière qui est relativement assez faible. La *terre à foulon* de Reigate en donne un exemple frappant; car, tandis qu'elle est extrêmement avide d'eau, elle ne se délaie pas dans l'huile; elle n'en absorbe que 32, c'est-à-dire moins que le quart de la proportion d'eau; elle n'en retient même pas beaucoup plus que le sable, l'ardoise, le porphyre ou que les roches pierreuses. Malgré cela, la *terre à foulon* de Reigate est de bonne qualité et son usage est très-répandu en Angleterre.

Du reste, les matières argileuses s'emploient spécialement pour le foulage du drap; mais quand le drap fabriqué a été graissé avec de l'acide oléique, les matières argileuses ne suffisent pas pour opérer son dégraissage, et il est alors nécessaire d'avoir recours à un alcali. De même, les matières argileuses ou talqueuses, vendues comme *pierre à détacher*, sont généralement mélangées avec du carbonate de soude.

L'argile magnésienne est celle qui s'imprègne à la fois de la plus grande proportion d'eau ou d'huile, et dans l'écume de mer le nombre trouvé pour l'huile s'élève à 145. Cette particularité ne doit sans doute pas être attribuée à la présence de la magnésie; car, dans les hydrosilicates de magnésie cristallisés, tels que la

(1) Berthier. *Traité des essais*, t. I, p. 47.

stéatite, l'imbibition est très-faible. Elle tient vraisemblablement à ce que cette substance est à un état de division extrême, à ce qu'elle se gonfle et à ce qu'elle donne une gelée volumineuse, lorsqu'on la met dans l'huile.

Si l'on prend le rapport entre les poids d'eau et d'huile qui imbibent une même substance, on trouve qu'il est souvent supérieur, mais quelquefois aussi inférieur à l'unité. Dans les terres à foulon, il dépasse ordinairement 1,5. Parmi les substances essayées, l'anhydrite a donné le *minimum* qui est de 0,5, et l'argile de Reigate, au contraire, le *maximum* qui s'élève à 4,2. Généralement le rapport diffère assez peu de l'unité.

En définitive, la proportion de liquide qui imbibe une même substance est variable. Dans les roches argileuses, elle est plus grande pour l'eau que pour l'huile, et elle peut devenir double. C'est l'inverse qui a lieu dans les roches calcaires.

Toutes choses égales, l'huile qui se comporte comme un acide doit être absorbée en plus grande proportion par les substances basiques avec lesquelles elle paraît même former des combinaisons.

L'imbibition qui est due surtout aux propriétés physiques dépend donc aussi des propriétés chimiques; c'est d'ailleurs ce qui résulte des recherches importantes que M. Chevreul a publiées sur l'affinité (1).

§ 7. Absorption des matières organiques.

On vient de voir que les matières organiques sont absorbées par les substances minérales, et d'après cela il semble assez naturel d'admettre que celles qui se trouvent dans les roches proviennent de l'infiltration et

(1) Chevreul. *Recherches chimiques sur la teinture.* — Mémoires de l'Académie des sciences. — Voir aussi Comptes rendus, 1860. t. L, p. 172, 311, 385. *Sur l'équilibre et sur le mouvement des liquides dans les corps poreux*, par M. Jamin.

sont accidentelles. Il est certain qu'elles sont surtout très-abondantes à la surface du sol et particulièrement dans la terre végétale ; de plus elles sont entraînées ou dissoutes dans les eaux atmosphériques qui vont ensuite imprégner les roches à travers lesquelles elles s'infiltrent. Les eaux superficielles ou souterraines renferment d'ailleurs un peu d'ammoniaque et d'alcalis qui contribuent à dissoudre facilement les acides organiques existant dans les roches et surtout dans la terre végétale (1). Enfin toutes les eaux contiennent elles-mêmes une petite quantité de matières organiques et il y en a jusque dans l'atmosphère. En sorte que l'infiltration, soit par l'eau, soit par l'atmosphère, tend à faire varier les matières organiques.

Mais il faut observer que l'infiltration n'augmente pas nécessairement les matières organiques, et il sera même facile de reconnaître qu'elle peut au contraire les diminuer. C'est, en effet, ce que l'on constate très-bien sur les roches qui sont décomposées et changées en argile ou en kaolin.

Quoique la terre végétale et les êtres qui sont à la surface du sol tendent certainement à augmenter les matières organiques dans les roches inférieures, leur influence est limitée à une petite profondeur. Car, lorsqu'on opère sur des échantillons d'une même roche pris à quelques décimètres ou à plusieurs mètres au-dessous de la terre végétale, la proportion de matières organiques reste constante. C'est aussi ce qui a lieu pour des échantillons retirés avec la sonde d'une très-

---

(1) Rissler et Verdeil. *Jahresbericht der Chemie*, 1852 (Liebig et H. Kopp), p. 786, et 1858 (H. Kopp et H. Will), p. 507. — Rissler. *Bibliothèque universelle de Genève*, 1858, p. 305. — Viala. *Étude sur le rôle de l'azote dans la composition des engrais organiques et dans l'alimentation souterraine des plantes*. — Paris, 1860.

grande profondeur qui, par conséquent, sont restés enfouis dans le sol depuis leur formation. Généralement il suffit de choisir les échantillons sur lesquels on opère à moins d'un mètre au-dessous de la terre végétale, pour que la proportion de leurs matières organiques soit indépendante des infiltrations de la surface.

Il importe surtout d'observer que, malgré leur voisinage de la surface, certaines roches ne renferment pas de matières organiques ou seulement des traces insignifiantes ; je mentionnerai notamment les trachytes et les laves qui sont cependant des roches poreuses et éminemment perméables.

Ainsi l'infiltration n'augmente pas toujours les matières organiques, et même dans certains cas elle les diminue. En outre, les roches, qui n'avaient pas de matières organiques au moment de leur formation, n'en absorbent pas nécessairement, bien qu'elles soient pénétrées par l'eau ou par l'atmosphère.

Si les matières organiques trouvées dans les roches peuvent être postérieures, elles sont surtout originaires. C'est facile à comprendre pour les roches stratifiées ; car elles renferment souvent un nombre très-grand de corps organisés et quelquefois même elles en sont entièrement formées.

La suite de ces recherches montrera de plus qu'il faut l'admettre aussi pour les roches éruptives qui sont généralement imprégnées par l'eau et par les matières organiques existant à l'intérieur de la terre.

Les matières organiques contenues dans les substances minérales peuvent donc quelquefois être postérieures, mais elles sont essentiellement originaires ; quoi qu'il en soit, d'ailleurs, elles se retrouvent avec constance dans les mêmes roches, et par conséquent leur étude présente beaucoup d'intérêt.

§ 8. Procédés employés pour la recherche des matières organiques.

L'existence des matières organiques dans les substances minérales se constate aisément, soit par l'action de l'eau ou de la chaleur, soit par d'autres procédés. Souvent même ces matières sont en proportion assez grande pour qu'il soit possible de doser les quatre éléments qui les composent, le carbone, l'hydrogène, l'oxygène et l'azote.

§ 9. Action de l'eau et des alcalis.

Comme l'ont signalé déjà plusieurs chimistes, il existe des matières organiques dans les roches calcaires, arénacées ou argileuses, même lorsqu'elles n'ont jamais été fumées.

D'après M. Paul Thénard, qui s'est occupé d'une manière toute spéciale de leur étude, ces matières constituent divers acides qui sont encore peu connus, mais qui paraissent voisins de l'acide crénique. Veut-on les mettre en évidence, il suffit de faire bouillir la roche avec un alcali ou plutôt avec de l'oxalate de potasse et de traiter ensuite la liqueur filtrée par de l'acide chlorhydrique; elles apparaissent alors sous la forme d'une substance brune et floconneuse. Comme elles sont d'ailleurs très-hygrométriques et légèrement solubles, l'action prolongée de l'eau permet également de les séparer.

Il m'a paru intéressant de réchercher s'il y avait aussi des matières organiques dans les roches cristallines ou éruptives et si l'eau pouvait les extraire.

Dans ce but, quelques-unes de ces roches, du rétinite, du basalte, de la minette, ont été porphyrisées et mises dans de l'eau distillée qui fût maintenue à la température de l'ébullition pendant une journée. L'eau de lavage a été renouvelée à plusieurs reprises, filtrée, puis évaporée à sec. Alors il a été facile de constater l'existence d'une matière organique en proportion beaucoup plus grande que celle qui peut se trouver dans l'eau distillée. En même temps, il s'est dissous une

petite partie de la roche elle-même, comme l'ont appris les expériences de MM. Rogers. Les résultats obtenus sont les suivants :

	Matière organique.	Matière minérale.	Poids total.
Rétinite noir brunâtre d'Islande. . . .	0,50	1,00	1,50
Rétinite jaune brunâtre de Meissen. .	0,35	1,27	1,62
Basalte de l'île Bourbon.	0,20	0,90	1,10
Minette décomposée du mont Chauve.	traces.	0,60	0,60

Les roches, même lorsqu'elles sont éruptives et volcaniques, peuvent donc renfermer une matière organique. Cette matière se dissout au moins partiellement dans l'eau bouillante; elle laisse dans l'évaporation un résidu hygrométique qui devient noirâtre par la chaleur et qui se détruit en dégageant une odeur de caramel.

Observons que la matière organique est réduite à des traces dans la minette qui était complétement décomposée et même à l'état argileux. Ce résultat qui peut paraître extraordinaire sera vérifié ultérieurement pour d'autres roches décomposées.

Comme la benzine dissout facilement les matières bitumineuses qui imprègnent certaines roches, il était utile de voir si elle exercerait quelque action sur la matière organique qui vient d'être signalée. Or l'expérience montre que la benzine, mise en digestion à chaud avec la roche, ne se colore pas en noir et qu'elle ne dissout pas une quantité sensible de la matière organique qui s'y trouve.

Quant au résidu minéral qui accompagne la matière organique extraite par l'eau, il consiste essentiellement en silice, notamment pour les rétinites. Pour le basalte et la minette, il renferme aussi un peu d'alumine, d'oxyde de fer, des traces de chaux, de magnésie et d'alcalis.

Les recherches qui vont suivre démontreront du reste, d'une manière bien complète, qu'il existe réellement des matières organiques, non-seulement dans les

corps organisés fossiles, mais encore dans les roches et dans les minéraux, même lorsqu'ils sont bien cristallisés et lorsqu'ils ont une origine volcanique.

§ 10. Action de la chaleur.

La distillation donne tout d'abord un moyen très-simple de reconnaître les matières organiques. Il suffit, en effet, de mettre la substance à examiner dans un petit tube de verre fermé par une extrémité et de la chauffer ensuite légèrement à la lampe à alcool. La chaleur dégage les produits de la distillation des matières organiques, et alors il est facile de constater leur présence. Le papier de tournesol indique d'ailleurs si la distillation est alcaline ou acide.

Ces essais ont été faits pour un grand nombre de corps organisés fossiles, de minéraux, ainsi que de roches stratifiées et non stratifiées.

Les résultats que j'ai obtenus sont résumés par les quatre tableaux qui accompagnent ce mémoire.

(*Tableaux* I, II, III, IV.)

On voit d'abord que la plupart des roches et même des minéraux renferment une proportion très-sensible de matières organiques. La présence de ces matières est démontrée par la couleur plus foncée, brunâtre, grisâtre ou même noirâtre que prend la substance essayée, lorsqu'elle est chauffée dans le tube fermé. Elle l'est aussi par l'odeur empyreumatique que dégage cette substance et quelquefois par la condensation de bitume ou d'une huile bitumineuse. Elle l'est encore par la coloration bleue du papier de tournesol rougi par un acide.

Pour reconnaître ces matières organiques, il suffit d'opérer sur de petites quantités de la substance examinée, au plus sur quelques grammes; car, lorsqu'on fait un essai à blanc dans un tube de verre lavé avec soin et avec de l'eau distillée, on n'obtient pas les réactions qui viennent d'être signalées.

D'un autre côté, si l'on met une centaine de grammes de la substance dans une cornue de porcelaine et qu'on la chauffe en recueillant dans un tube de verre refroidi et courbé en *u* les produits volatils qui se dégagent, il ne restera plus de doute sur l'existence d'une proportion très-sensible de matières organiques.

Les réactions données par la distillation s'expliquent du reste aisément.

D'abord, si la substance essayée prend, lorsqu'elle est chauffée, une couleur plus foncée ou noirâtre, cela *tient à ce que* les matières organiques qu'elle renferme sont décomposées et donnent un dépôt charbonneux qui lui reste mélangé. Cette réaction est bien sensible *pour tous les corps* organisés, animaux ou végétaux, et elle l'est d'autant plus que la proportion des matières organiques est plus grande. Elle est encore sensible pour les roches et pour les minéraux, surtout lorsque leur couleur est pâle ou blanchâtre. Ainsi le calcaire, la marne et même des minéraux cristallisés, comme la chaux carbonatée, prennent, dès qu'ils sont chauffés, une couleur beaucoup plus foncée qui révèle de suite la présence de matières organiques.

Quant aux produits de la distillation, ils sont variables et assez complexes.

§ 11. Distillation alcaline.

Lorsqu'il y a des matières organiques dans la substance essayée, elles sont toujours accusées par une odeur empyreumatique rappelant celle de la pipe ou de la corne brûlée. En outre, elles dégagent de l'ammoniaque qui, tantôt est parfaitement reconnaissable à son odeur, tantôt est indiquée, soit par des fumées avec l'acide chlorhydrique, soit par la couleur bleue qu'elle donne au papier de tournesol.

Lorsque la substance a été préalablement humectée avec une dissolution de potasse, l'ammoniaque toute

formée apparaît d'ailleurs sans le secours de la chaleur. Il est facile de constater ainsi qu'il existe de l'ammoniaque dans les argiles (1).

Indépendamment de l'ammoniaque, les végétaux et les animaux peuvent aussi dégager des bases ammoniacales, du carbonate d'ammoniaque et même d'autres sels ammoniacaux.

En outre, les corps organisés, les ossements, les combustibles, les terres végétales, les argiles, les schistes, les marnes et certaines roches éruptives, comme les trapps et les basaltes, donnent souvent des matières bitumineuses qui vont se condenser à la partie supérieure du tube.

Maintenant la distillation de la substance essayée est tantôt alcaline, tantôt acide; elle peut être alternativement l'une et l'autre, suivant la température à laquelle une même substance est chauffée.

§ 12. Distillation acide.

Lorsque la distillation est acide, cela tient au dégagement d'un acide organique ou minéral.

§ 13. Acides organiques et acide carbonique.

Les matières bitumineuses, par exemple, donnent une distillation qui est acide au commencement et qui devient ensuite alcaline : il se dégage d'abord des acides organiques, qui, lorsqu'on chauffe davantage, sont remplacés par de l'ammoniaque. Parmi les combustibles, la houille, le lignite et surtout la tourbe, ainsi que le bois, distillent de l'acide acétique.

Du reste, quand des acides organiques sont soumis à l'action de la chaleur, ils donnent généralement parmi leurs produits volatils de nouveaux acides pyrogenés, ainsi que de l'acide carbonique. Maintenant l'acide carbonique peut encore résulter de la décomposition des carbonates; car ces derniers forment non-seulement des minéraux et des roches ainsi que le têt des mollusques,

(1) Bouis. *Annales de chimie*, t. XXXV, p. 333.

mais ils entrent aussi dans la composition des os et de certains corps organisés.

Comme les matières organiques renferment quelquefois du soufre, du chlore, etc., elles peuvent d'ailleurs dégager aussi des acides minéraux. Le soufre, par exemple, existe à l'état de combinaison dans diverses parties des animaux ou des végétaux et dans les produits qui en dérivent (1). Il forme du sulfure de calcium dans les coquilles d'huître (2). Récemment sa présence a même été constatée dans le caoutchouc (3). § 14. Acides du soufre.

Lorsque des matières organiques contenant du soufre sont soumises à la distillation, elles donnent d'ailleurs de l'hydrogène sulfuré ; c'est en particulier ce qui a lieu pour les bitumes naturels et quelquefois aussi pour le lignite et pour la houille. Il est même probable que l'hydrogène sulfuré qui se produit en très-petite proportion lorsqu'on chauffe diverses substances minérales, provient aussi du soufre combiné avec les matières organiques qui leur sont mélangées.

Parmi les minéraux et les roches qui dégagent un peu d'hydrogène sulfuré à la distillation, je citerai des gypses, notamment ceux du bassin de Paris, quelques serpentines, certaines argiles, surtout celles qui sont à la fois pyriteuses et bitumineuses, comme le lias et l'argile oxfordienne, la chaux carbonatée fétide, dite *pierre de porc*, et enfin les roches bitumineuses.

Quelquefois l'odeur d'hydrogène sulfuré est sensible dès qu'on brise ces roches avec le marteau.

L'alunite du mont Dore qui contient du soufre donne de l'hydrogène sulfuré et de l'acide sulfureux.

---

(1) J. Liebig. *Chimie appliquée à la physiologie végétale*, 1844, p. 83.

(2) Dumas. *Chimie*, t. VIII, p. 638.

(3) Cloez et Girard. *Comptes rendus* t. L, mai 1860.

Les argiles, les schistes, les ardoises et en général les roches pyriteuses distillent du soufre qui produit un peu d'acide sulfureux.

Le soufre peut d'ailleurs se trouver à l'état libre ou bien résulter de la décomposition, soit des pyrites, soit de l'hydrogène sulfuré; il forme une petite couronne à la partie supérieure du tube lorsqu'on essaye les substances qui viennent d'être indiquées.

§ 15. Acides de l'azote. Les nitrates qui sont mélangés en très-petite quantité à un grand nombre de substances contribuent surtout à donner une distillation acide. On sait qu'ils sont assez abondants dans certaines roches pour qu'il y ait avantage à les exploiter. Mais M. Boussaingault a reconnu en outre qu'il existe des nitrates dans les terres végétales de toute nature et de toute provenance; le nitre qui leur correspond peut même s'élever jusqu'à 1 $\frac{1}{2}$ millième. Dans les limons déposés par les fleuves, il y a aussi du nitre; toutefois, sa proportion est très-faible, comme on pouvait s'y attendre, et dans les limons de l'Amérique méridionale, qui sont cependant très-riches en matières azotées, elle reste inférieure à 1 cent millième (1).

Récemment MM. Henri Sainte-Claire Deville et Debray ont trouvé des nitrates contenant 1,2 d'acide nitrique dans le peroxyde de manganèse naturel (2).

J'ai constaté, d'un autre côté, qu'il y a des nitrates dans diverses roches et en particulierdans les roches volcaniques, telles que le tuf qui a recouvert Herculanum et le basalte scoriacé de la Croix-de-Paille dans le Velay.

Les nitrates s'observent surtout dans les roches poreuses ou dans celles qui contiennent des matières organiques azotées. D'après M. Millon, ils se forment le

(1) Boussaingault. *Journal d'agriculture pratique*, 1859, t. I, p. 493; *Comptes rendus*, t. XLVIII, p. 931 et mai 1860.

(2) *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, t. L, mai 1860.

plus souvent dans la terre et ils subissent un déplacement ascensionnel à travers le sol humide. En Algérie, la nitrification paraît arrivée à son maximum au bout de vingt et un jours (1).

Les cavernes ont été habitées par un très-grand nombre d'animaux pendant de longues périodes de siècles; elles ont notamment servi de repaires aux ours et aux hyènes, en sorte qu'il s'y est généralement accumulé beaucoup d'ossements fossiles et de matières organiques azotées. Lorsqu'en outre le climat est très-chaud, l'air humide et renouvelé, les circonstances les plus favorables à la nitrification se trouvent réunies, et il peut alors s'y former une énorme proportion de nitrate. C'est ce qui explique pourquoi les cavernes du Brésil, de Ceylan, du Bengale, de l'Inde deviennent des nitrières extrêmement riches qui donnent jusqu'à 7 p. 100 de nitre à leur surface.

Comme l'a remarqué M. Boussaingault, les nitrates, qui sont éminemment favorables à la végétation, se retrouvent partout en petite quantité. Il en est de même d'ailleurs pour les phosphates et en général pour toutes les substances nécessaires à la nutrition des végétaux.

La distillation des substances minérales peut encore être rendue acide par un peu de chlore qui, engagé dans différentes combinaisons, se dégage généralement à l'état d'acide chlorhydrique. § 16. Acides du chlore.

Ainsi M. C. Sorby a reconnu que le quartz du granite, étant pulvérisé dans de l'eau distillée, donne quelquefois à cette eau une réaction acide qui est due à de l'acide chlorhydrique. Du chlorure de sodium et de potassium remplissent, en outre, les cavités du quartz dans certaines roches granitiques.

Le chlore a été signalé dans le trapp par Kirwan,

(1) Millon. *Comptes rendus*, 1860, t. LI, p. 289.

dans le phonolithe par Abich, et il y en a d'ailleurs dans différentes roches volcaniques.

Les matières organiques elles-mêmes contiennent aussi du chlore ou des chlorures et dégagent de l'acide chlorhydrique. Car, d'après M. Armand, lorsqu'on soumet à la distillation le calcaire bitumineux du Val de Travers qui est employé pour la fabrication de l'asphalte, l'acide chlorhydrique qui se dégage, au moment où l'on ouvre les cornues, est assez abondant pour incommoder les ouvriers. En outre, M. Leadbetter a constaté récemment l'existence d'une proportion très-notable de chlore dans les combustibles minéraux. La houille de Lesmahagow en contient... 0,015 et celle de Monkland jusqu'à... 0,028 p. 100. Le boghead en a... 0,012 (1).

Le caoutchouc naturel et pur donne également de l'acide chlorhydrique lorsqu'il est chauffé à 230° (2).

Il y a surtout du chlore dans les matières organiques animales et alors, les phosphates qui s'y trouvent également, le dégagent par l'action de la chaleur, même lorsqu'il est à l'état de chlorure métallique (3).

L'acide hypochloreux a encore été indiqué par M. Schaffhaütl dans le spath fluor violet de Welsendorf.

§ 17. Acides du fluor. Les micas, le spath fluor, la topaze, en général les minéraux fluorés dégagent du fluorure de silicium et comme ils ont très-peu de matières organiques azotées, ils donnent une distillation acide. Il en est souvent de même pour les psammites, les grès micacés, les argilites, les micaschistes et en général pour les roches qui contiennent, soit des minéraux fluorés, soit leurs dé-

(1) Sur la présence du chlore dans la houille. *Société chimique de Paris*, 11e livraison, novembre 1860, p. 69.
(2) Cloez et Girard. *Comptes rendus*, t. L, mai 1860.
(3) W. Heintz. *Jahresbericht der Naturwissenschaftlichen Vereins in Halle*, 1851, p. 203.

bris. Mais pour les dents et pour les os qui renferment aussi un peu de fluor, la réaction acide est dissimulée par suite de la grande quantité de matières azotées.

§ 18. Produits divers de la distillation.

Lorsque la distillation d'une substance minérale donne des acides énergiques, comme ceux du soufre, de l'azote, du chlore, du fluor, elle est ordinairement acide. Cela peut avoir lieu, même quand ces acides sont en quantité très-petite et à peine dosable. Mais, d'un autre côté, les matières organiques provenant de la substance essayée donnent de l'ammoniaque qui peut rendre la distillation alcaline. Il arrive même souvent que la distillation, acide au commencement de l'opération, devient alcaline lorsqu'on chauffe davantage.

Pour les minéraux et les roches qui contiennent du fluor, c'est généralement le contraire qui a lieu, et la distillation qui est alcaline au commencement devient acide à la fin. Cette circonstance tient alors à ce que le fluorure de silicium se dégage à une température supérieure à celle à laquelle se forme l'ammoniaque.

Il ne suffit donc pas qu'une substance renferme des matières organiques azotées pour que sa distillation soit alcaline, il faut encore qu'elle ne donne pas un dégagement acide venant masquer la réaction de l'ammoniaque ou des bases ammoniacales,

La distillation peut être acide, puis alcaline ou réciproquement. Les tableaux I, II, III, IV en offrent de nombreux exemples.

Les produits volatils qui se rendent à la partie supérieure du tube d'essai sont essentiellement l'ammoniaque, les matières bitumineuses et divers acides.

L'acétate d'ammoniaque se forme dans la distillation du bois, des combustibles, des matières animales.

L'azote et l'hydrogène libres ont été obtenus dans la distillation de la houille.

Le soufre se dépose quelquefois dans le tube; il pro-

vient de soufre natif, de la distillation des pyrites ou bien de la réaction de l'hydrogène sulfuré sur l'acide sulfureux.

Le sulfure de carbone se dégage dans la distillation du lignite, de la houille et surtout des roches bitumineuses.

Le sulfure d'arsenic dans celle de certaines pyrites de fer et de l'arsenic sulfuré.

Brandes a constaté qu'il y a 0,13 de sulfate d'ammoniaque dans le schiste alunifère (ampélite alumineux) du comté de la Mark. On en trouve également dans l'alunite de la Tolfa. Un peu de sulfate d'ammoniaque se forme d'ailleurs dans la distillation de la houille.

Le chlorhydrate d'ammoniaque est, comme l'on sait, l'un des produits les plus habituels des volcans, et il imprègne souvent les laves. Il s'obtient aussi en petite quantité dans la distillation des combustibles et de simples argiles. Il a même été signalé dans le têt des mollusques (1).

Le chlorure de fer se dégage de la pyrosmalite quand elle est soumise à la distillation (2); il a, de plus, été observé dans les tufs volcaniques de Gergovia.

Jusqu'à présent, les substances volatiles qui ont été mentionnées sont seulement celles qui sont les plus habituelles dans les roches; mais si l'on considère les minéraux, leur distillation sera nécessairement très-variée et elle dépendra de la composition de chaque espèce.

En résumé, l'azote des matières organiques tend à donner une distillation alcaline; d'un autre côté, diverses circonstances qui viennent d'être énumérées peuvent, au contraire, la rendre acide. L'effet observé sera la différence de ces deux résultats. Il est donc facile de comprendre pourquoi des substances contenant

(1) Jolly. *Journal de pharmacie*, 3e série, t. XXXIII, p. 161.
(2) Berzelius. *Traité du chalumeau*, p. 245.

beaucoup d'azote ont une distillation acide; tandis que d'autres qui en contiennent à peine, ont une distillation qui est très-sensiblement alcaline.

Comme la distillation ne permet pas d'apprécier la richesse en azote, il était nécessaire d'avoir recours à un dosage.

Le procédé qui a été suivi pour le dosage de l'azote est celui de MM. Will et Warrentrapp, modifié par M. Péligot. L'azote était transformé en ammoniaque en présence de la chaux sodée, et sa proportion était ensuite déterminée au moyen de l'acide sulfurique titré. Du reste, l'opération avait lieu comme à l'ordinaire et par suite il est inutile de la décrire; j'indiquerai seulement quelques particularités spéciales au but que je me proposais dans ces recherches. § 19. Dosage de l'azote.

Comme les roches et surtout les minéraux renferment généralement très-peu d'azote, pour obtenir des résultats précis, il était d'abord nécessaire d'opérer sur un poids aussi grand que possible. Ce poids était habituellement de 20 grammes; mais lorsque la substance était très-pauvre en azote, il était porté à 30, à 40 et quelquefois même à 50 grammes. Dans ce dernier cas, la substance avait en même temps une grande densité, en sorte que son volume n'était pas trop considérable. D'un autre côté, lorsqu'elle était plus riche en azote, son poids était réduit à 15, à 10, à 5 grammes, et enfin pour quelques corps organisés à moins de 1 gramme.

La substance pilée était mélangée à de la chaux sodée qui avait été granulée et tamisée; puis elle était introduite dans un tube de verre ayant des dimensions assez grandes pour qu'il restât environ une longueur de $0^m,2$, laquelle était remplie avec de la chaux sodée.

On avait soin d'ailleurs de laver l'intérieur du tube

avec de l'eau distillée, de manière à le débarrasser des poussières qui pouvaient s'y trouver, et on le faisait sécher avant d'y mettre la substance.

Lorsque ce tube était adapté à l'appareil renfermant l'acide sulfurique titré, ses différentes parties étaient chauffées avec les précautions habituelles. Puis, lorsque le dégagement avait cessé, un courant de gaz produit par de l'oxalate de chaux ou bien par une simple aspiration faisait arriver sur l'acide sulfurique les dernières traces d'ammoniaque restant dans le tube.

Quand on employait l'aspiration, on pouvait craindre une erreur en plus résultant de l'ammoniaque et des matières organiques qui existent dans l'atmosphère; mais cette erreur était très-faible et même négligeable, dès que la substance essayée contenait de l'azote en quantité dosable.

Si la substance renfermait des pyrites ou du soufre, il était nécessaire d'employer l'oxalate de chaux; car, lorsque le courant final était oxydant, il se dégageait de l'acide sulfureux qui augmentait le titre de l'acide sulfurique servant au dosage. Sans cette précaution, il peut arriver que le procédé ne donne pas d'azote pour des corps qui en contiennent cependant une proportion très-notable; c'est en particulier ce que j'ai constaté pour les os fossiles imprégnés de pyrite.

Le saccharate de chaux, destiné à neutraliser l'acide sulfurique, était versé à l'aide d'une burette graduée du système de M. Hervé Mangon; cette burette est montée sur un support et reste verticale; elle est munie d'une petite vésicule en caoutchouc qui est percée d'un trou et permet de régler avec la plus grande facilité l'écoulement du saccharate.

Le saccharate lui-même était assez étendu pour que dans toutes les expériences la différence donnée par

l'acide sulfurique, avant et après l'opération, fût représentés par quelques degrés de la burette.

Comme le titre du saccharate s'altère, il était déterminé aussi souvent que c'était nécessaire et ordinairement à chaque fois.

En prenant une grande quantité de la substance et en se servant d'acide sulfurique ainsi que de saccharate convenablement étendus, on pouvait obtenir une très-grande approximation dans ce dosage de l'azote. Du reste, l'opération était toujours conduite de la même manière, afin qu'en tenant compte des erreurs, les résultats fussent bien comparables. On mettait chaque fois le même nombre de gouttes de la teinture de tournesol et on cessait de verser le saccharate dès le premier virement ou dès que la liqueur tournait au bleu.

Quand on a pu le croire nécessaire, des essais à blanc ont été faits avec la chaux sodée pour s'assurer s'il y avait quelque dégagement d'ammoniaque; j'ai reconnu à plusieurs reprises que les quantités trouvées ou indiquées par le procédé étaient alors insignifiantes et qu'elles n'avaient pas d'influence sensible sur les dosages.

Pour les substances les plus intéressantes ou pour celles dans lesquelles la présence de l'azote pouvait paraître extraordinaire, ces essais ont été répétés plusieurs fois, afin de constater si les résultats étaient bien concordants.

Il importe d'observer que la substance essayée donne quelquefois lieu à un dégagement acide qui augmente le titre de l'acide sulfurique au lieu de le diminuer. Ainsi, par exemple, lorsqu'on opère sur des carbonates ou sur des substances qui dégagent beaucoup d'acide carbonique, ou bien lorsqu'à la fin de l'opération on produit le courant gazeux au moyen de l'oxalate de

chaux, la chaux sodée n'arrête pas complétement l'acide carbonique; une certaine quantité de cet acide reste alors en dissolution dans la liqueur sulfurique dont elle augmente le titre, en sorte qu'il devient nécessaire de s'en débarrasser avant de verser le saccharate. C'est ce que l'on faisait en chauffant avec précaution la liqueur sulfurique jusqu'à l'ébullition.

Maintenant lorsque la substance contient des nitrates, lorsqu'elle donne de l'hydrogène sulfuré ou de l'acide sulfureux, le dégagement peut encore être acide; c'est en effet ce que j'ai constaté pour diverses roches très-pauvres en matières organiques, notamment pour des roches volcaniques.

Comme ces roches renferment seulement une très-petite quantité d'azote se transformant en ammoniaque, sa présence est souvent complétement dissimulée par le dégagement acide. Dans ce cas, il est nécessaire de chauffer le tube avec lenteur, de veiller à ce que la colonne de chaux sodée soit suffisamment grande et à ce qu'elle absorbe bien le dégagement acide; autrement l'expérience donne des résultats tout à fait inverses de ceux qu'on doit obtenir.

Lorsque les nitrates sont en proportion notable, comme dans les terres salpêtrées, le mieux est même de s'en débarrasser par un lavage préalable.

Le procédé employé fait connaître l'ammoniaque qui se produit lorsque la substance est traitée par la chaux sodée. Cette ammoniaque provient surtout de l'azote des matières organiques qui, à la température à laquelle on opère, sont complétement décomposées. Elle peut aussi être toute formée et provenir de sels ammoniacaux existant en petite quantité dans la substance (1). Quant

(1) Boussingault. *Comptes rendus*, t. XLVIII, p. 931.

à l'azote des nitrates, il est également en petite quantité, et comme il ne se change pas en ammoniaque, il n'a pas été dosé. C'est donc l'azote correspondant à l'ammoniaque qui a seul été obtenu.

Lorsque la substance dégage beaucoup d'hydrogène carboné, comme ce dernier joue le rôle de base, il tend à diminuer légèrement le titre de l'acide sulfurique ; cette circonstance se présente notamment quand l'azote est dosé dans les végétaux, dans les animaux, dans les matières organiques. Pour obvier à cet inconvénient, il convient alors de chauffer la liqueur sulfurique.

En général, si la substance essayée contient très-peu de matière organique, on doit plutôt craindre un dégagement acide qu'un dégagement alcalin. De plus, il faut observer que lorsque la substance renferme de l'ammoniaque toute formée, malgré les précautions prises, une petite partie de cette ammoniaque peut se perdre pendant le mélange de la substance avec la chaux sodée. Par conséquent, au lieu d'être trop forts, les nombres trouvés pour l'azote sont plutôt trop faibles.

Les plus légères circonstances, telles que l'infiltration, la pénétration de poussières, etc., pouvant influer sur la teneur d'une substance en azote, il n'était pas nécessaire de conserver les chiffres qui suivaient celui des 100 millièmes. D'un autre côté, il était naturel de se demander si des circonstances tout à fait accidentelles, comme les doigts humides touchant la substance, ne viendraient pas modifier la teneur en azote ; mais de pareils effets sont certainement négligeables ; car les substances essayées étaient toutes traitées de la même manière et celles qui étaient réellement dépourvues de matières organiques ne donnaient pas

sensiblement d'azote quand on leur appliquait le procédé.

Le dosage était du reste contrôlé par la distillation, surtout quand il y avait peu d'azote.

Maintenant, comme le dosage de l'azote s'exécutait généralement sur de grandes quantités, il avait l'avantage de révéler l'existence de gaz combustibles et de matières bitumineuses dans des roches ou des minéraux dans lesquels il était difficile de les soupçonner. Ces matières bitumineuses se reconnaissaient facilement à leur odeur; on les voyait même se condenser à la sortie du tube dans lequel la substance était chauffée avec la chaux sodée.

Les opérations demandaient beaucoup de temps et devaient être faites sur un très-grand nombre de substances; elles ont été poursuivies pendant près de deux années. Dans une grande partie de ces opérations, j'ai été secondé avec beaucoup de zèle et d'intelligence par M. Brivet.

Les tableaux placés à la fin de ce mémoire résument tous les résultats obtenus; j'y ai d'ailleurs réuni quelques-uns de ceux publiés antérieurement par divers chimistes. En les consultant, il est facile d'apprécier comment la proportion d'azote et de matières organiques varie, soit dans les corps organisés, soit dans les corps non organisés qui constituent l'écorce terrestre.

(*Tableaux* I, II, III, IV.)

I. CORPS ORGANISÉS.

Je considère d'abord les corps organisés qui peuvent être des animaux ou des végétaux. Corps organisés.

ANIMAUX.

Lorsque les cadavres des animaux sont exposés à l'action de l'air, leurs matières organiques ne tardent pas à se décomposer. Il en est encore de même lorsqu'ils sont enfouis sous terre, et le plus généralement une durée de cinq années suffit pour les réduire à l'état de squelettes. La rapidité avec laquelle ils se décomposent dépend beaucoup du sol qui les enveloppe; elle tend à augmenter quand ce dernier est formé par une marne ou par une argile, c'est-à-dire quand il absorbe facilement les matières organiques et quand il est humide. L'humidité paraît surtout exercer une grande influence. Animaux. § 20. Procédés naturels de conservation.

Cependant des procédés naturels ou artificiels peuvent préserver accidentellement les matières organiques de la destruction. Le plus parfait de ces procédés est l'un de ceux qui ont été employés par la nature. Ainsi, dans la Sibérie, la chair des mammouths et des rhinocéros s'est conservée d'une manière tellement remarquable qu'elle peut encore être mangée. Ces animaux qui remontent au commencement de l'époque actuelle, ont complétement échappé à la destruction; ils ont été subitement enveloppés par des glaces éternelles qui depuis sont sans doute restés à une température inférieure à zéro, en sorte qu'ils ont été soustraits à l'action de l'air et de l'humidité. Du reste, on trouve aussi leurs ossements et leurs défenses, soit isolés, soit en squelettes entiers; mais alors la décomposition de leur chair a eu lieu avant qu'ils fussent enveloppés dans la glace ou bien encore, quoique enveloppés, ils pou-

vaient être atteints par l'air et par les infiltrations. C'est à la fonte des neiges que les cadavres et les ossements de ces animaux apparaissent, et d'après M. de Middendorff qui a visité récemment ces contrées, en moyenne, on découvre un cadavre conservé tous les trois ans; le nombre d'ossements recueillis dans ces deux derniers siècles représenterait même une population très-nombreuse, car elle serait supérieure à vingt mille mammouths (1). Bien que ce phénomène soit exceptionnel, il a donc une grande importance géologique.

Les insectes enveloppés par le succin résistent encore assez bien à la décomposition; cependant, comme ils sont atteints par l'humidité, leurs parties molles se détruisent, et c'est surtout leur tissu tégumentaire formé par la chitine qui est préservé.

Les eaux des tourbières conservent non-seulement les végétaux, mais encore les animaux, ce qui doit être attribué à une sorte de tannage (2).

§ 21. Procédés artificiels. Momies.

Il existe d'ailleurs divers procédés artificiels d'embaumement (3). Les Égyptiens paraissent avoir employé surtout des matières bitumineuses et notamment de l'ozokerite, qui est très-abondante sur les bords de la mer Caspienne. Les chairs de leurs momies sont devenues dures et ont pris une couleur brunâtre; elles résistent pendant plusieurs milliers d'années. Leur azote diminue beaucoup, mais il ne disparaît pas complétement; car, d'après M. Payen, il y a... 138,60 d'azote dans la chair musculaire desséchée à l'air; or, j'ai constaté que le cuir chevelu d'une momie qui s'était réduit

(1) *Bulletin de l'Académie impériale de Saint-Pétersbourg*, 1860 p. 557. Sur les mesures à prendre pour provoquer, en Sibérie, des découvertes de grands mammifères antédiluviens gelés.

(2) Lyell. *Principes de géologie*, 1845, 2e partie, p. 369.

(3) Dumas. *Traité de chimie*, t. VIII, p. 753.

à l'épaisseur d'une feuille de papier en contenait seulement... 38,91 ; par conséquent, à poids égal, la chair desséchée contient environ $3 \frac{1}{2}$ fois plus d'azote que la chair des momies. Généralement même ce rapport doit encore être plus grand, parce que le cuir chevelu qui a été essayé montrait des rudiments de cheveux et que ces derniers sont riches en azote.

Toutefois, les circonstances dans lesquelles les cadavres des divers animaux échappent à la destruction sont très-exceptionnelles, et leurs squelettes se conservent seuls dans la fossilisation.

Les os qui forment le squelette dans les animaux vertébrés sont composés d'une partie terreuse et d'une partie animale. Cette dernière, nommée *osséine* ou matière cartilagineuse, se dissout dans l'eau chaude en donnant de la gélatine. Sa composition est assez constante même dans des animaux différents, et comme l'a montré M. Frémy, elle renferme environ 18 p. 100 d'azote. Sa proportion diffère peu de 30 p. 100 dans la plupart des vertébrés. Dans les oiseaux, elle peut descendre à 25, tandis qu'elle augmente beaucoup dans les poissons. Pour un même animal, elle est plus grande dans le jeune que dans l'adulte, et dans le tissu spongieux d'un os que dans son tissu compacte. Elle varie aussi avec l'os considéré. § 22. Matières organiques dans les animaux fossiles.

D'après des recherches récentes de M. Alphonse Milne-Edwards, la gélatine peut former une combinaison chimique particulière avec le phosphate de chaux basique, et c'est essentiellement cette combinaison qui paraît constituer le tissu osseux (1).

L'osséine étant intimement unie avec le phosphate de chaux et de plus insoluble dans l'eau froide, on

(1) *Études chimiques et physiologiques sur les os*, par A. Milne-Edwards. Victor Masson, Paris, 1860.

comprend qu'elle doit bien résister à la fossilisation. Et en effet, de Bibra a trouvé de la gélatine, non-seulement dans les os humains provenant des tumulus de la Germanie et d'une momie égyptienne, mais encore dans les os des tourbières, dans ceux de l'ours des cavernes et de l'éléphant du terrain diluvien (1).

En faisant bouillir avec de l'eau un os de glyptodon, un os de tortue et une dent de squale appartenant au terrain tertiaire, j'ai vérifié qu'ils renfermaient encore une proportion très-notable de gélatine. Comme le remarque M. de Bibra, la gélatine des os remontant à une haute antiquité s'extrait même plus facilement.

On reconnaît d'ailleurs très-bien que l'osséine n'a pas été complétement détruite par la fossilisation, en abandonnant à l'air une infusion d'os fossile dans l'eau chaude; car on observe qu'il ne tarde pas à s'y développer des mycodermes. En outre, quand on traite des os fossiles par de l'acide chlorhydrique faible, lors même qu'ils sont très-anciens ou minéralisés, ils laissent pour résidu un léger squelette organique qui provient de l'osséine.

Lorsqu'on chauffe les os, les dents ou les coprolites, dans un tube fermé, ils prennent une couleur plus foncée et généralement ils noircissent; ils dégagent des substances huileuses ou bitumineuses ayant une odeur désagréable qui se condensent à la partie supérieure du tube; ils donnent ensuite de l'ammoniaque qui colore vivement en bleu le papier de tournesol et qui est ordinairement assez abondante pour qu'on la reconnaisse immédiatement à son odeur. Si l'on opère sur une quantité suffisante, on constate aussi qu'ils dégagent des gaz inflammables. Tels sont les effets de la distilla-

---

(1) Von Bibra. *Chemische Untersuchungen über die Knochen und Zähne der Menschen und der Wirbelthiere*, 1844.

tion; ils s'observent très-bien dans les os appartenant à l'époque actuelle et au terrain diluvien; ils se retrouvent encore, bien qu'à un degré beaucoup moindre, dans les os provenant des terrains tertiaires, crétacés, jurassiques et même des terrains plus anciens.

Du reste, l'azote mesure en quelque sorte la quantité de matières organiques des animaux fossiles, ou du moins il permet de l'apprécier. Pour que les résultats des essais fussent parfaitement comparables, il faudrait, il est vrai, que les animaux examinés appartinssent à une même espèce et de plus à une même partie du squelette. Car, dans leurs os, par exemple, la matière organique varie avec les espèces d'animaux, et dans certaines limites avec des individus différents; elle varie aussi pour un même animal avec son âge, avec l'os considéré et avec son tissu. Toutes choses égales, elle se conserve mieux dans les os qui sont très-compactes et difficilement perméables.

Le gisement des os fossiles exerce d'ailleurs une grande influence sur la proportion de matières organiques qu'ils renferment; en sorte que pour apprécier complétement les effets de la fossilisation, il faudrait pouvoir considérer un os déterminé d'un même animal, pris dans des terrains différents, et se trouvant pour chacun d'eux dans les mêmes conditions de gisement.

Les espèces variant dans la série des terrains, il n'était pas possible de réaliser cette condition d'une manière absolue; mais j'ai cherché à m'en rapprocher le plus possible en comparant des débris fossiles de même nature. Ainsi, les os, les dents, les têts des mollusques, les végétaux ont été comparés entre eux.

Le premier tableau placé à la fin de ce mémoire donne la description complète des divers corps organisés qui ont été soumis aux essais. Il résume les résul-

tats obtenus qui sont, autant que possible, ordonnés par rapport à l'azote.

Afin de rendre ces résultats plus sensibles, à la suite de la colonne qui fait connaître l'azote exprimé en millièmes, vient une colonne qui est intitulée *Rapport*. Dans cette colonne se trouve le quotient de l'azote obtenu avec l'azote fourni par un corps organisé de même nature qui a servi de terme de comparaison; ce dernier a d'ailleurs été représenté par 1.000.

(*Tableau* I.)

§ 23. *Vertébrés.* Os.

Si l'on considère un os normal, non fossile, renfermant 30 p. 100 d'osséine qui contient elle-même 18 p. 100 d'azote, son azote sera de 54 millièmes. Prenant cet os comme terme de comparaison, j'ai recherché comment l'azote varie dans les os à mesure qu'on descend dans la série des terrains.

J'ai d'abord opéré sur des os appartenant à l'époque actuelle, mais remontant à différentes dates. Or, dans un fémur humain provenant des Catacombes de Paris et ayant au moins un siècle, l'azote était déjà réduit à... 32,25. Un crâne humain, rencontré dans une fouille de la Cité et remontant sans doute aux premiers temps de Paris, avait... 22,74 d'azote. Divers os d'homme et de sanglier datant de Jules César et de l'époque gallo-romaine, c'est-à-dire de plus de quinze cents ans, en ont donné un peu moins. Il y en avait beaucoup moins encore et seulement... 11,14 dans les ossements celtiques trouvés à Meudon par M. E. Robert (1). Ces premiers résultats montrent bien que dans les os l'azote diminue à mesure que l'ancienneté augmente.

Cependant, dans un crâne de momie ayant plus de

(1) *Voyage en Scandinavie et en Laponie*, p. 199. Recherches sur le séjour des Celtes dans les environs de Paris, etc., et notice sur le même sujet, par M. Serre.

deux mille ans, j'ai encore trouvé... 27,01 d'azote. Mais cette exception ne doit pas surprendre ; car les momies sont préservées de la destruction par l'embaumement ; elles sont dans un climat très-sec ; en outre, elles se trouvent généralement dans des caveaux au lieu d'être enfouies sous terre. L'altération éprouvée résulte donc simplement de l'action exercée par l'atmosphère ; c'est l'air secondé par l'humidité qui a produit une combustion lente de l'osséine et qui a réduit l'azote à... 27,01, soit à 50 p. 100.

Dans un autre crâne de momie, qui était d'ailleurs très-friable et complétement altéré, je n'ai même plus trouvé que... 3,39 d'azote.

Il était surtout intéressant d'examiner parmi les os humains ceux auxquels on attribue la plus haute antiquité. Sur les flancs de la montagne volcanique de Denise, près le Puy-en-Velay, des squelettes humains ont été trouvés au contact d'une brèche volcanique, et certains géologues ont pensé d'après cela que l'homme était contemporain des volcans de la France centrale. Sir Charles Lyell m'a remis un fragment de crâne qui provenait de ce gisement, et j'ai constaté qu'il renfermait... 18,46 d'azote.

Un autre gisement d'os humains qui serait encore beaucoup plus remarquable vient d'être découvert à Aurignac par M. Lartet. D'après ce savant paléontologiste, les os humains y seraient associés à ceux des animaux les plus caractéristiques des cavernes ou du terrain diluvien, notamment à l'ursus spelæus, au rhinocéros tichorinus, à l'elephas primigenius et surtout au renne ; en outre, ils leur seraient contemporains. La recherche de l'azote dans ces os humains d'Aurignac présentait donc un très-grand intérêt ; or j'ai trouvé qu'il y en avait seulement... 15,63. Les os humains de Denise et

d'Aurignac renferment plus d'azote que les os celtiques de Meudon; mais ces derniers étaient dans un endroit très-humide, en sorte que leur osséine avait dû se détruire plus rapidement.

Quand les os ont été minéralisés ou bien enfouis dans un gisement anormal, quand ils sont constamment baignés par l'eau, ils perdent au bout du même temps une plus grande quantité d'azote. Ainsi un os humain provenant d'un tumulus de Panassac qu'on suppose dater au plus de neuf cents ans, n'avait que... 10,34 d'azote. Il était d'ailleurs imprégné d'oxyde de fer, et de plus le têt calcaire d'unios se trouvant dans son voisinage avait été complétement dissous; par suite il avait été soumis à une infiltration acidule et une altération plus rapide de son osséine devait nécessairement en résulter.

Pour un crâne humain qui était enchâssé dans un conglomérat marin et coquillier du Brésil, l'azote s'est d'ailleurs réduit à... 1,64; cette faible proportion est tout à fait exceptionnelle pour les os de l'époque actuelle, puisqu'elle diffère peu de celle des os du terrain diluvien dans lesquels on en trouve le moins. Il est possible qu'elle tienne en partie à ce que ce crâne du Brésil est très-ancien; mais je suis porté à croire qu'on doit surtout l'attribuer à son gisement; en effet, ce crâne a été fossilisé dans un climat très-chaud; il était plongé dans l'eau de mer comme le démontre son association avec des coquilles marines; en outre, il se trouvait dans une roche poreuse, imprégnée et cimentée par des infiltrations calcaires. Toutes ces causes concouraient donc à détruire plus rapidement la matière organique.

L'âge tend visiblement à réduire de plus en plus la proportion d'azote contenue dans les os de l'époque actuelle; mais lorsqu'on veut préciser son influence, on est surtout arrêté par la difficulté qu'on éprouve

à se procurer des os qui aient un âge bien authentique et qui remontent à une époque un peu reculée.

Les os du terrain diluvien ont donné des résultats qui diffèrent beaucoup entre eux. Ainsi, un cheval et un bœuf fossiles d'une brèche osseuse de Ver, dans l'Oise, contiennent environ... 10 d'azote, c'est-à-dire presque autant que les os humains d'Aurignac et de Meudon; tandis qu'il y en a seulement... 1,17 dans une vertèbre de cétacé du terrain diluvien de Saint-Omer. D'un autre côté, il n'y a plus que... 0,89 d'azote dans le megatherium,... 0,61 dans la carapace du glyptodon, et l'on considère ces animaux comme appartenant aussi au terrain diluvien. L'ursus spelæus des grottes d'Osselles n'a donné également que... 0,89; mais cela tient vraisemblablement à ce qu'il a été fortement imprégné de chaux carbonatée; car, d'après Marchand, l'ursus spelæus peut renfermer plus de 16 p. 100 de matière organique (1).

La brèche osseuse de Ver présente des débris de chevaux, de cerfs, de bœufs, d'hyènes et peut-être même de rhinocéros; elle appartient à un terrain diluvien ayant au plus quelques mètres d'épaisseur et remplissant une légère dépression du sol sur une colline. La grande proportion d'azote trouvée dans tous les os provenant de cette brèche me porte à la regarder comme beaucoup plus récente que le terrain diluvien qui est à un niveau plus bas et qui remplit les vallées. C'est d'ailleurs ce qui sera confirmé plus loin.

Dans le terrain tertiaire, pour des palæotherium enveloppés dans le gypse ou dans le minerai de fer, l'azote n'a pas dépassé... 0,41. Il était de... 0,35 pour une tortue miocène de l'Allier, de... 0,19 pour le rhinocéros des fahluns et de... 0,12 pour un hipparion de Pi-

(1) Dumas. *Traité de chimie*, t. VIII.

kermi. Ce dernier fossile appartient au miocène supérieur d'après M. A. Gaudry, et on s'explique pourquoi il retient aussi peu d'azote, en observant que ses cellules sont complétement remplies par de la chaux carbonatée spathique.

Deux côtes de lamantin ayant une cassure pierreuse, conchoïde, un éclat lustré et provenant, l'une des fahluns, l'autre des sables de Fontainebleau de Jeurre, ont donné des résultats peu différents. La première, qui est brune et très-ferrugineuse, contient...0,21 d'azote, à peu près comme les os de rhinocéros du même gisement; la deuxième, qui est imprégnée de chaux carbonatée, n'en a plus que... 0,12. Bien que les os des fahluns aient été partiellement changés en phosphate de fer, ils sont durs, sonores, et ils paraissent conserver un peu plus d'azote que ceux qui sont imprégnés de chaux carbonatée.

Si l'on passe au terrain jurassique, l'azote trouvé dans les os de sauriens ne dépasse pas 0,16; il est encore inférieur à ce qui a été obtenu généralement pour le terrain tertiaire, toutefois la différence est extrêmement faible.

Ainsi l'osséine ou la matière organique des os présente une résistance très-grande à la destruction; elle se retrouve jusque dans des terrains qui remontent à une période incalculable de siècles. Elle diminue généralement à mesure que l'ancienneté du terrain augmente. La différence est surtout bien marquée entre l'époque actuelle et les autres terrains; mais à partir du terrain tertiaire elle devient très-faible. Si l'on considère l'azote en particulier, il peut s'élever encore à 40 p. 100 après une durée de deux mille ans. Ordinairement, il ne dépasse guère 2 p. 100 dans le terrain diluvien déposé au fond des vallées; il reste inférieur à 1 p. 100 dans le terrain tertiaire, et il se réduit à quelques millièmes dans les terrains plus anciens.

Pendant l'époque actuelle, la proportion d'azote varie dans des limites assez étendues pour que le dosage de l'azote dans un os puisse servir à contrôler son âge et même venir en aide à l'archéologie.

Toutefois, il importe d'observer que les conditions dans lesquelles un os a été fossilisé exercent, indépendamment de l'âge, une très-grande influence sur la proportion d'azote qu'il contient; et chaque fois qu'il a été fortement imprégné par de la chaux carbonatée, de la silice, de la pyrite de fer ou de l'oxyde de fer, son azote diminue plus rapidement.

Ces remarques sont d'ailleurs générales, et on reconnaîtra bientôt qu'elles s'appliquent à tous les corps organisés, animaux ou végétaux.

Les dents et les défenses contiennent beaucoup moins de matières organiques que les os; je n'ai même trouvé que... 35,71 d'azote dans une défense d'éléphant vivant, soit 66 p. 100 de ce qu'il y a moyennement dans les os. Comme, d'après leur destination, les dents et les défenses doivent être très-dures, on comprend d'ailleurs pourquoi elles sont pauvres en matières organiques. Les dents ont surtout très-peu de matières organiques dans leur émail. Quoi qu'il en soit, on va voir que ces matières ne résistent pas moins bien à la destruction dans les dents et les défenses que dans les autres parties du squelette. § 24. Dents.

En effet, une dent de momie a donné à Lassaigne 29 p. 100 de matières organiques, c'est-à-dire autant qu'une dent d'homme adulte. Des dents d'ours fossile contiennent encore 14 p. 100 de matière organique.

J'ai même constaté qu'une dent d'hyæna spælea des brèches osseuses d'Auvers ne renfermait pas moins de... 26,95 d'azote; elle en avait plus que certains os humains. D'un autre côté, M. Frémy a trouvé 20 p. 100

de matière organique dans des os d'hyène provenant des cavernes de Kirkdale. Ces résultats sont remarquables; car ils indiquent que le sol de la France et de l'Angleterre était habité par les hyènes dès l'époque actuelle et même à une époque qui est encore peu éloignée de nous.

J'ai encore essayé la dent molaire d'un mammouth provenant de Russie et appartenant à la collection de l'École des Mines. Sa partie osseuse qui était blanc jaunâtre a donné seulement... 15,95 d'azote. Quant à son émail qui était blanc-bleuâtre, translucide et qui paraissait aussi bien conservé que si elle datait de l'époque actuelle, il ne contenait que... 2,97 d'azote. L'émail a donc beaucoup moins de matières organiques que l'os qui forme une dent, et c'est d'ailleurs facile à comprendre puisqu'il est extrêmement dur.

Remarquons maintenant que cette dent de mammouth renferme moins d'azote que la dent de hyène d'Auvers. Ce résultat qui est assez extraordinaire peut s'expliquer en admettant qu'elle a été dégagée des glaces depuis une époque reculée, et elle porte du reste quelques traces d'altération.

Les dents appartenant au terrain diluvien proprement dit, qui a rempli les vallées, contiennent beaucoup moins d'azote que celles des cavernes et des brèches qui sont à un niveau plus élevé. Une dent de toxodon de Buenos-Ayres n'avait que... 0,48 d'azote; il y en avait seulement... 0,19 dans une dent molaire d'éléphant du terrain diluvien. Une dent de squale miocène retenait encore... 0,42 d'azote; une autre de la base du calcaire grossier n'en avait plus que... 0,16. Une dent de mastodonte du miocène n'en a donné que... 0,13. Pour le *bone-bed* du Keuper, l'azote s'est élevé à... 0,84; mais cela doit moins être attribué aux dents et aux os qui

s'y trouvaient qu'à l'argile mélangée qui leur servait de ciment.

Au-dessous du terrain diluvien, les dents renferment donc très-peu d'azote et beaucoup moins qu'on ne serait porté à le croire d'après leur bel état de conservation. § 25. Défenses.

Parmi les défenses fossiles, il était particulièrement intéressant d'examiner celle du mammouth de Sibérie, car elles sont assez bien conservées pour être employées comme ivoire. La défense sur laquelle j'ai opéré m'a été donnée par M. de Verneuil; elle avait avait une couleur blanc-jaunâtre, et elle était très légèrement imprégnée de fer; à sa surface, on remarquait même un peu de fer phosphaté bleu; traitée par l'acide *chlorhydrique*, elle donnait beaucoup de gélatine: elle contenait encore... 31,95 d'azote, c'est-à-dire 89 p. 100 de ce qui se trouve dans l'éléphant vivant.

J'ai encore examiné plusieurs défenses d'éléphant et de mastodontes mises à ma disposition par M. Lartet, et qui provenaient du terrain diluvien ou tertiaire.

Dans celles du terrain diluvien, l'azote est resté inférieur à 1 millième.

Deux défenses de mastodon angustidens prises dans une même sablonnière miocène et se trouvant : la première dans un sable granitique grossier, la deuxième dans un sable fin un peu calcaire, ont donné... 0,19 et... 0,14 d'azote. Une défense de mastodonte provenant du calcaire miocène de Sansan n'avait également que... 0,13 d'azote. Dans les diverses défenses du terrain tertiaire que j'ai essayées, l'azote n'a pas dépassé quelques dix millièmes.

Quoique les dents et les défenses contiennent moins d'azote que les os, celles qui sont fossilisées et au-dessous du terrain diluvien en renferment presque autan que les os de même âge. Il semblerait même que celles

qui appartiennent à l'époque actuelle, s'altèrent plus lentement que les os. Ces résultats doivent sans doute être attribués à ce que leur tissu est très-serré et presque compacte.

Les dents et les défenses finissent cependant par perdre presque toutes leurs matières organiques par la fossilisation; de même que les os, elles les conservent seulement dans le terrain diluvien glaciaire de la Sibérie.

La disparition des matières organiques des défenses explique très-bien pourquoi elles deviennent souvent tellement friables, qu'elles se réduisent en poussière lorsqu'on veut les recueillir.

M. Lartet a constaté que généralement les défenses du miocène de la Garonne sont bien conservées, dures et pesantes; tandis que celles des alluvions diluviennes, bien qu'étant plus récentes, sont blanches, légères, friables.

Pour les défenses, comme pour les dents, la proportion d'azote devient très-faible au-dessous du terrain diluvien, et elle paraît même rester inférieure à un demi-millième; elle dépend d'ailleurs, non-seulement de leur âge, mais encore des circonstances variées dans lesquelles s'est opérée leur fossilisation.

§ 26. Bois. Des bois de ruminants ont également été examinés. L'un appartenant à un cerf gigantesque (cervus megaceros) des tourbières de l'Irlande, contenait encore une grande proportion de matière organique qui formait une gelée épaisse quand on l'attaquait par l'acide chlorhydrique; son azote s'élevait à... 28,07. L'autre, provenant d'un cerf du terrain diluvien était fortement imprégné de chaux carbonatée et n'avait plus que... 0,51 d'azote.

La conservation de la matière organique du cervus

megaceros, tient surtout à son gisement; car il a été fossilisé dans des dépôts tourbeux, et les débris animaux ou végétaux y subissent une sorte de tannage qui les préserve très-bien de la décomposition.

Toutefois les os conservés dans les lignites se sont trouvés à peu près dans les mêmes conditions, ils sont seulement plus anciens. Or une carapace de tortue provenant des lignites de l'argile plastique n'a donné que... 0,33 d'azote, c'est-à-dire pas plus que les autres os du terrain tertiaire. Par conséquent, il est probable que la grande proportion de matière organique du cervus megaceros tient, non-seulement à sa fossilisation dans des eaux tourbeuses, mais aussi à ce qu'il a disparu à une époque qui n'est pas très-reculée.

Les coprolites de certains animaux offrent une très-grande résistance à la destruction et souvent les matières organiques s'y conservent mieux que dans les os. On peut citer notamment ceux des oiseaux, des reptiles, des poissons, des hyènes, et en général des animaux carnassiers qui mangent des os. L'analyse des coprolites fossiles a montré, en effet, qu'ils contiennent toujours beaucoup de phosphate de chaux. La proportion d'azote des coprolites varie d'ailleurs avec les animaux qui les ont produits. Ceux des oiseaux qui vivent au bord de la mer et qui se nourrissent de poissons sont particulièrement riches en azote et en ammoniaque, en sorte qu'ils sont très-recherchés comme engrais pour l'agriculture. § 27. Coprolites.

Dans le guano du Pérou, qui est surtout formé par des excréments d'oiseaux de l'époque actuelle, l'azote s'élève jusqu'à... 157,3; c'est un maximum auquel on peut comparer l'azote trouvé dans les autres coprolites. Une moyenne de quatorze essais a donné... 142,90 d'azote pour le guano des îles de Chincha qui est très-

ammoniacal (1). Dans le guano d'Afrique, l'azote se réduit à... 97,40. Il est de... 50,50 dans le guano de chauve-souris recueilli dans les grottes de l'Algérie (2).

Tandis que la poudrette de Montfaucon, préparée avec les excréments humains, renferme... 26,70 d'azote, celle qui résulte du dépôt de ces mêmes excréments dans les voiries établies autrefois dans les anciennes carrières, perd rapidement la plus grande partie de son azote. M. Hervé-Mangon a même constaté qu'après un siècle, elle n'en renferme plus que... 1,84. Aussi, bien que cette poudrette existe en amas considérables sous Paris-Vaugirard, et dans quelques autres localités, elle est assez pauvre pour que jusqu'à présent on ne l'ait pas exploitée comme engrais pour l'agriculture.

On trouve fréquemment dans les brèches osseuses et surtout dans les cavernes, des coprolites de carnassiers, particulièrement de hyène; ils sont connus sous le nom d'*album græcum*, *album vetus*. L'examen d'un de ces coprolites provenant de la Hyæna spelæa des brèches osseuses d'Auvers, a montré qu'il était blanc jaunâtre, très-légèrement celluleux, qu'il contenait des débris d'os et accidentellement quelques grains de quartz ainsi que des paillettes de mica; il n'avait pas comme le guano, de l'acide urique; son azote était de... 2,10. Un autre coprolite, également de hyène, qui provenait du terrain diluvien de Ver, n'en avait même plus que... 0,86; ce dernier était d'ailleurs dans un terrain sableux, très-perméable et à une petite distance du sol.

Les coprolites du terrain tertiaire, signalés par M. Desnoyers dans les marnes supérieures au calcaire gros-

---

(1) Boussaingault. Gisement du guano dans les îlots et sur les côtes de l'océan Pacifique. *Comptes rendus*, t. LI, p. 844.

(2) Barral. *Rapport du jury de l'exposition universelle de* 1855, t. I, p. 96.

sier de Passy, ont donné beaucoup de gaz à la distillation et ne renfermaient pas moins de... 0,73 d'azote.

Des coprolites du terrain crétacé et du muschelkalk retenaient encore plus de... 0,3 d'azote.

M. Stanèck a analysé des coprolites de poissons appartenant au grès rouge d'Oberlangenau en Bohême, ils contiennent... 25,97 de matière minérale qui est formée de phosphate et de carbonate de chaux, ainsi que de chlorure de sodium. Leur azote s'élèverait d'après M. Stanèck à... 16 et même à... 22? Cette proportion est bien supérieure à celle qu'il serait naturel de supposer dans des terrains aussi anciens.

La nature et le gisement des coprolites font varier beaucoup l'azote qu'ils renferment; mais, quoi qu'il en soit, cet azote diminue généralement à mesure qu'on descend dans la série des terrains. D'un autre côté, il est engagé dans des matières organiques qui résistent très-bien à la fossilisation, et sa proportion est souvent supérieure à celle trouvée dans les os de même âge.

L'humidité provoque surtout une destruction rapide des matières organiques dans les coprolites, et c'est particulièrement bien sensible pour le guano; car il est ammoniacal dans un climat sec, tandis qu'il devient terreux et qu'il s'enrichit en phosphate de chaux dans un climat pluvieux. Pour les coprolites des cavernes, c'est encore l'humidité plus ou moins grande qui règle la proportion d'azote. Les différences sont bien marquées pour l'époque actuelle; toutefois, elles tendent à disparaître dès que les coprolites sont fossiles ou exposés à l'humidité.

Les nodules sphériques de chaux phosphatée qu'on trouve dans le gault de Folkestone sont simplement des concrétions; car ils n'ont pas la forme des coprolites et ils sont plus pesants; en outre, il importe de

remarquer qu'ils contiennent moitié moins d'azote que les coprolites du terrain crétacé.

On peut constater d'ailleurs que la quantité d'azote des coprolites est notablement supérieure à celle des roches dans lesquelles ils s'observent ; et par conséquent l'analyse chimique vient lever tous les doutes qu'on pourrait conserver sur leur origine animale.

§ 28. *Crustacés. Insectes.* Parmi les animaux non vertébrés, les insectes et les crustacés ont un squelette tegumentaire qui est en partie formé par des sels calcaires unis à de la *Chitine*. Or cette matière organique ne contient pas d'azote d'après M. Frémy, et elle oppose une résistance remarquable à tous les agents de décomposition (1). Le squelette tégumentaire des insectes, des crustacés et par suite des trilobites étant encore moins altérable que les os, il n'est pas étonnant que ces animaux se retrouvent à l'état fossile et en bon état de conservation jusque dans le terrain houiller et même dans les terrains plus anciens.

§ 29. *Mollusques.* Têt calcaire. Les mollusques secrètent généralement un têt calcaire qui se conserve bien dans la fossilisation et dans lequel il était intéressant de rechercher les matières organiques (2).

D'après MM. Carpenter et G. Rose, la chaux carbonatée qui constitue le têt des mollusques est renfermé dans des cellules formées par une matière organique ; cette matière, qu'on met facilement en évidence en dissolvant le carbonate de chaux dans un acide, a été

---

(1) Pelouze et Frémy. *Traité de chimie*, 2e édition, t. VI, p. 93 et 288.

(2) Relativement à la composition du têt des mollusques, voir les travaux de Hatchett, B. Silliman Junior, Dana, Marcel de Serres et Figuier, Damour, G. Rose. *Ueber die heteromorphen Züstande der Kohlensaüzen Kalkerde aus den Abhandlungen der K. Akademie der Wissenschaften.* Zu Berlin, 1858, 2e partie, p. 73.

nommée *Conchioline* par MM. Frémy et Schlossberger. Elle est isomérique de l'osséine, mais ne donne pas de gélatine dans l'eau bouillante. Par la fossilisation, elle s'altère plus ou moins, sans être complétement détruite.

Il est facile de constater, en effet, que le têt calcaire des mollusques fossiles contient encore de petites quantités de matières organiques. Car, chauffé dans le tube fermé, il prend une couleur plus foncée ou grisâtre; en outre, il dégage assez d'ammoniaque pour bleuir fortement le papier de tournesol. Dissous dans un acide faible, il peut même laisser un léger résidu de matières organiques. MM. Marcel de Serres et Figuier ont d'ailleurs reconnu, par l'analyse comparative de coquilles vivantes et fossiles appartenant à l'époque actuelle, que leurs matières organiques se conservent en partie dans la fossilisation, mais qu'elles se réduisent quelquefois au cinquième.

Le têt des mollusques a souvent un éclat nacré qui révèle la présence de matières organiques; cependant, dans ce cas, il en renferme généralement très-peu, comme l'ont remarqué de Bournon et Hatchett. Ainsi, le têt de porcelaines, qui a un bel éclat nacré et des couleurs si vives, est presque exclusivement formé de carbonate de chaux. M. Schlossberger a constaté également que, dans les huîtres, la partie nacrée contient seulement... 2,2 de matières organiques, tandis qu'il y en a... 6,27 dans la partie feuilletée. Bien qu'elle soit en petite quantité, la matière organique qui donne l'éclat nacré, résiste d'ailleurs très-bien à la fossilisation; et cet éclat se retrouve aussi vif que pendant la vie de l'animal dans les fossiles qui proviennent de certains gisements; je citerai notamment la lumachelle de Carinthie, le trias d'Ésino, le minerai de fer de la Verpillière et celui de

divers terrains, les argiles du lias, de l'oxfordien, du gault et en général les roches appartenant aux terrains jurassiques ou crétacés et surtout aux terrains tertiaires.

Il peut arriver, d'ailleurs, que le carbonate de chaux soit dissous et que la matière organique soit conservée; c'est, par exemple, ce que M. Lartet a observé sur des unios trouvés avec des armes du XIe siècle dans un *tumulus* de Panassac dans le département du Gers. Ces unios ne contenaient plus traces de carbonate de chaux, mais la matière organique formant leur épiderme, présentait un tissu léger, élastique, ayant conservé leur forme et même leur couleur.

Dans le fossile assez peu connu qui a reçu le nom d'aptychus, il ne reste que très-peu de matière organique : je l'ai constaté, par exemple, pour un aptychus à têt calcaire et celluleux, provenant du terrain oxfordien de la Voûlte ; sa distillation était à peine alcaline et sa proportion d'azote très-faible.

L'azote contenu dans la coquille de l'huître comestible s'élève à... 4; mais dans l'ostrea deltoidea de l'argile de Kimmeridge, il se réduit à... 0,06; dans la gryphée arquée du lias, il est à peine appréciable; peut-être même la faible quantité obtenue est-elle due à un mélange d'argile.

Les têts calcaires qui ont été essayés proviennent de mollusques variés et de terrains séparés l'un de l'autre par une incalculable durée. Malgré cela, leur proportion d'azote reste à peu près la même et de plus elle est très-faible ; c'est, en effet, ce qui a lieu pour le pectunculus pulvinatus des fahluns, le cerithium echidnoides du calcaire grossier de Gentilly, le belemnites mucronatus de la craie blanche de Meudon, le cyatophyllum vermiculare du terrain devonien. L'azote

contenu dans le têt calcaire de tous ces mollusques reste inférieur à... 0,2.

Ainsi, le têt calcaire des mollusques fossiles retient très-peu de matières organiques. Bien que ces matières tendent encore à diminuer à mesure qu'on descend dans la série des terrains, il existe à peine une différence sensible entre les mollusques tertiaires et ceux des terrains les plus anciens. C'est d'ailleurs facile à comprendre ; car le mélange de la moindre quantité d'argile influe de suite sur la proportion des matières organiques.

L'expérience a montré que les coquilles vivantes et même fossiles, notamment celles des fahluns, sont un très-bon amendement pour les terres. D'après l'échantillon des fahluns que j'ai examiné, ces coquilles contiendraient cependant très-peu d'azote, et il est probable que leur action fertilisante doit surtout être attribuée au carbonate et au phosphate de chaux, ainsi qu'aux diverses substances qui leur sont mélangées.

Enfin, il est bon d'observer que les têts calcaires des mollusques renferment très-souvent beaucoup moins d'azote que les roches dans lesquelles ils ont été déposés et notamment que les roches argileuses.

Dans quelques gisements, certaines matières organiques des mollusques ont bien résisté à la fossilisation ; on peut citer, par exemple, les belemnites à l'aide desquelles il a été possible à M. Owen de restaurer complétement l'animal et qui ont été observées dans des couches argileuses d'Angleterre. Sir Charles Lyell a indiqué des mollusques appartenant au pliocène de la Sicile, qui auraient conservé leur ligament (1). M. Barrande a signalé aussi dans le terrain silurien de Bo-

---

(1) Sir Charles Lyell. *Manuel de géologie élémentaire*, 1856, t. I, p. 253.

hème une orthocère à l'intérieur de laquelle se trouvait une matière qui lui a semblé provenir du corps même de l'animal.

Du reste, il est certaines matières organiques qui sont à peine altérées par la fossilisation, telle est surtout la sæpia ou l'encre secrétée par les céphalopodes. Cette encre s'est tellement bien conservée, que celle qui a été déposée dans les couches argileuses du lias, peut encore être employée; elle présente les mêmes caractères que celle des céphalopodes vivants et elle ne paraît guère avoir été modifiée.

L'inaltérabilité de l'encre des céphalopodes doit sans doute être attribuée à sa grande richesse en carbone, et nous verrons d'ailleurs que cette inaltérabilité se retrouve également dans les végétaux.

Lorsque des débris d'animaux sont enfouis dans le sol, leurs matières organiques éprouvent, comme nous venons de le constater, une destruction plus ou moins complète; mais leurs matières minérales elles-mêmes n'y échappent pas entièrement. Il est facile d'en acquérir la preuve en comparant ces débris à l'état normal et à l'état fossile.

§ 30. Modifications dans la densité du squelette.

C'est dans ce but que j'ai déterminé la densité d'une série d'os, de dents, de défenses, de bois provenant de divers animaux.

Le tableau suivant résume les résultats obtenus.

J'ai d'ailleurs opéré spécialement sur des échantillons dont l'azote était connu, et les numéros entre parenthèses sont ceux que chacun d'eux porte dans le tableau I.

Numéros d'ordre.	NATURE DU CORPS.	CARBONATE DE CHAUX.	DENSITÉ.	Rapport des densités
	Os.			
1	Crâne *humain*, os frontal, non fossile. . . .	6,24	2,011	1,00
2	Fémur *humain* du cimetière Saint-Leu, Paris.	9,99	2,085	1,04
3	Fémur *humain* du cimetière Saint-Julien des Ménétriers, Paris.	7,27	2,096	1,04
4	Os *humain* du bras, datant de 1900 ans (n° 5).	7,98	2,098	1,04
5	Crâne *humain* datant de plusieurs siècles, de la Cité (n° 4).	6,45	2,034	1,01
6	Crâne *humain* de la montagne de Denise (n° 8).	2,42	2,115	1,05
7	Crâne *humain* des tombes gallo-romaines de Précy-sur-Oise.	15,73	2,237	1,11
8	Crâne *humain* des monuments celtiques de Meudon.	9,31	2,372	1,18
9	Crâne *humain* du Brésil (n° 15).	2,96	2,692	1,34
10	Crâne de *momie* bien conservé (n° 3)	6,58	1,996	0,99
11	Crâne de *momie* friable, très-altéré (n° 14) . .	69,12	2,024	1,01
12	Vertèbre de *cétacé* du terrain diluvien (n° 16).	9,93	2,307	1,15
13	Vertèbre de *bœuf* du terrain diluvien (n° 11).	9,17	2,326	1,16
14	Carapace de *glyptodon reticulosus* (n° 20). . .	10,98	2,509	1,25
15	Humérus de *cheval* du terrain diluvien (n° 19).	15,64	2,513	1,25
16	Crâne d'*ursus spœleus* (n° 17).	39,18	2,521	1,25
17	Vertèbre de *paleotherium* dans le minerai de fer (n° 22).	9,48	2,703	1,34
18	Vertèbre d'*ichthyosaure* dans l'oolite jurassique (n° 29)	29,47	2,721	1,35
19	Os de *rhinocéros* des faluns (n° 26).	9,12	2,747	1,37
20	Carapace de trionyx imprégnée de pyrite de fer ; des lignites de l'argile plastique (n° 24).	10,60	3,068	1,52
21	Côte de *lamantin* vivant	8,05	1,998	1,00
22	Côte de *metaxitherium Guettardi* des sables de Fontainebleau (n° 31).	11,07	2,681	1,34
23	Côte de *lamantin* imprégnée d'oxyde de fer; des faluns de la Touraine (n° 25).	13,00	2,841	1,42
	Dents.			
24	Défense d'*éléphant* vivant (n° 32).	3,86	1,883	1,00
25	Défense de *mammouth* de Sibérie (n° 42). . .	4,71	1,929	1,02
26	Défense d'*éléphant* du terrain diluvien (n° 44).	7,52	2,629	1,40
27	Défense de *mastodonte* des sables granitiques et miocènes de la Garonne (n° 45).	9,49	2,878	1,53
28	Défense de *mastodonte* des sables marneux et miocènes de la Garonne (n° 46).	8,49	2,890	1,54
29	Défense de *mastodonte* de Sansan (n° 47). . .	17,04	2,899	1,54
30	Dent de *carcharodon* du miocène (n° 37). . .	5,46	2,547	1,35
	Bois.			
31	Bois du *cervus megaceros* des tourbières de l'Irlande (n° 48)	4,94	1,867	1,00
32	Bois de *cerf* du terrain diluvien (n° 49). . . .	10,67	2,594	1,39

La densité du squelette osseux ou calcaire des animaux devient visiblement plus grande dans la fossilisation.

L'augmentation est très-faible pour le têt calcaire des mollusques ; mais pour les os, les dents, les défenses, les bois de ruminants, elle s'élève très-notablement. Les défenses fossiles sont surtout très-remarquables sous ce rapport ; car leur densité est toujours grande, et elle est souvent supérieure de moitié à celle des défenses de l'éléphant vivant.

Les défenses de mammouth conservées dans les glaces de la Sibérie font du reste exception, et elles ont presque la même densité que celles de l'éléphant vivant ; toutefois, elles ne sont pas absolument dans le même état que pendant la vie de l'animal ; elles présentent même des retraits circulaires et concentriques perpendiculairement à leur axe, en sorte que leur densité a certainement augmenté.

La densité de l'ivoire vivant qui m'a servi de terme de comparaison est seulement de ... 1,883, tandis que d'autres observateurs ont obtenu... 1,917. Cette différence tient sans doute à ce que la densité des défenses n'est pas absolument la même dans toutes leurs parties. Il est du reste visible qu'elle présente des variations, non-seulement de la base à l'extrémité, mais encore du centre à la circonférence.

La densité des os à l'état normal présente aussi des variations ; cependant, elles sont beaucoup moindres qu'on ne serait porté à le croire, et elles ne sont pas toujours en rapport avec celles de leur structure. En effet, un os très-poreux d'un crâne humain m'a donné une densité égale à... 2,011, tandis que pour une côte très-compacte d'un lamantin vivant, la densité n'était que de... 1,998.

Il est d'ailleurs très-remarquable que la densité des

os soit plus grande que celle des défenses d'éléphant et des bois de ruminants qui sont à la fois plus compactes et surtout plus riches en sels calcaires.

Si l'on examine ce qu'est devenu la densité des os fossiles, on voit immédiatement qu'elle a augmenté.

Les os de momie peuvent, il est vrai, faire exception, mais ils ne sont pas enfouis et fossiles; car leur altération est due simplement à l'air. En outre, ils ont été fortement imprégnés par des matières bitumineuses qui tendent à les rendre plus légers.

Pour les os fossiles, l'augmentation de densité est généralement moins considérable que pour les défenses. Cependant elle est très-sensible, non-seulement pour les os des différentes époques géologiques, mais encore pour ceux de l'époque actuelle, et pour l'homme en particulier elle peut atteindre 34 p. 100.

Il est visible que la densité des os augmente avec leur ancienneté : les os humains en fournissent surtout la preuve, car ils ont généralement une densité d'autant plus grande qu'ils sont plus anciens.

Toutefois, la réciproque n'est pas toujours vraie, des os fossiles pouvant être minéralisés, et prendre alors une grande densité. Par exemple, lorsque les os fossiles sont imprégnés d'oxyde ou de pyrite de fer, leur densité s'élève beaucoup et même elle n'a pas d'autres limites que la densité de ces minéraux.

L'augmentation de densité peut résulter de deux causes : la destruction des matières organiques et l'introduction de substances minérales nouvelles.

Dans le têt calcaire des mollusques, il y a généralement très-peu de matières organiques, en sorte que l'augmentation de densité provenant de leur destruction est, par cela même, très-faible. Plus ces matières organiques sont détruites, plus la densité du têt se rap-

proche de celle de la chaux carbonatée dont la limite est... 2,80.

Dans les dents et les défenses, les matières organiques sont déjà en grande proportion, puisque, d'après Lassaigne, elles varient de 25 à 35 p. 100; il est donc facile de comprendre pourquoi toutes celles qui sont fossiles ont une densité plus grande. Il en est à plus forte raison de même pour les os, puisqu'ils contiennent encore plus de matières organiques.

Toutes choses égales, la densité augmente d'autant plus que la proportion des matières organiques était primitivement plus grande.

En outre, il faut observer que la densité des os va généralement en augmentant à mesure que l'osséine se détruit ou que l'azote diminue (*Tableau* I). C'est surtout bien manifeste, quand on compare entre eux les os humains de différents âges ou bien les os qui sont postérieurs au terrain diluvien. L'exception à laquelle donnent lieu les os de momie, tient d'ailleurs au baume qui les imprègne et à ce qu'ils ne sont pas fossiles.

La détermination de la densité peut donc, comme le dosage de l'azote, donner quelque indication sur l'âge d'un os. Il est nécessaire toutefois que cet os ne soit pas minéralisé et qu'il contienne encore une proportion assez notable d'osséine, ce qui est le cas seulement pour ceux de l'époque actuelle.

L'augmentation de densité qu'éprouve le squelette des animaux résulte, non-seulement de la perte des matières organiques, mais encore de l'introduction de substances minérales. Tantôt ces substances remplissent les cellules des os; tantôt elles se combinent avec eux et les pseudomorphosent.

Ainsi dans les défenses et dans les os, la densité augmente généralement d'autant plus qu'ils sont plus im-

prégnés de chaux carbonatée. Les os des fahluns de la Touraine ont particulièrement une très-grande densité ; car, pour un os de rhinocéros cette densité était de... 2,747; pour une cote de lamantin, elle s'est élevée à... 2,841, tandis que pour le lamantin vivant, elle est seulement de... 1,998. Il est d'ailleurs aisé de reconnaître que la grande augmentation de densité présentée par les os des fahluns, tient à ce qu'ils ont été plus ou moins changés en phosphate de fer. Les os des lignites de l'argile plastique sont également légèrement imprégnés par du carbonate de fer et surtout par de la pyrite de fer; en sorte que leur densité peut être très-élevée.

Recherchons maintenant si les matières minérales qui forment le squelette diminuent ou bien augmentent dans la fossilisation ; et pour mieux apprécier les modifications qu'elles subissent, considérons successivement le carbonate et le phosphate de chaux. § 31. Modifications dans les matières minérales du squelette.

On peut admettre que les os contiennent en moyenne 30 p. 100 d'osséine ; mais, quand ils sont plus anciens que le terrain diluvien, on a vu que cette osséine est presque entièrement détruite. En admettant donc que leurs substances minérales ne fussent aucunement altérées par la fossilisation, la proportion de ces dernières serait toujours plus grande que dans l'os normal ; elle devrait même augmenter dans le rapport de... 1 à $\frac{100}{70}$ soit $\div$ 1 : 1,43. Cependant cela n'a pas lieu pour le carbonate de chaux.

Il suffit, en effet, de jeter les yeux sur le tableau précédent pour reconnaître que, dans les os fossiles, le carbonate de chaux va tantôt en diminuant et tantôt en augmentant. (*Tableau* page 205).

La comparaison d'un os fossile avec un os normal est assez difficile, parceque le carbonate de chaux varie, non-seulement avec chaque os, mais même avec § 32. Diminution du carbonate de chaux.

chaque individu; toutefois elle est encore possible. Ainsi, d'après M. A. Milne-Edwards, le carbonate de chaux dans les os humains adultes est généralement compris entre 8 et 11 p. 100 (1). Or, aucun des os provenant des cimetières ou des tumulus ne m'en a donné autant. Et cependant un os ayant originairement 10 p. 100 de carbonate de chaux, dont l'osséine serait entièrement détruite sans aucune perte de son carbonate, ne devrait pas en contenir moins de... 14,29.

Maintenant, dans un crâne humain non fossile, j'ai trouvé... 6,24 de carbonate de chaux, et M. Frémy en a obtenu jusqu'à... 10,9 (2); tandis que le carbonate de chaux était inférieur à 10 p. 100 dans les crânes humains fossiles de la Cité et de Meudon; dans ceux de Denise et du Brésil, il n'atteignait même pas 3 p. 100.

Un crâne de momie qui était bien conservé avait... 6,58 de carbonate de chaux, et cette teneur était à peu près normale. Bien que les momies ne soient pas à proprement parler fossiles et qu'elles aient été exposées pendant plusieurs milliers d'années à l'action de l'acide carbonique de l'air, on voit donc que leur carbonate de chaux n'a pas varié.

Un autre crâne de momie qui était friable et complétement altéré, présentait au contraire une exception remarquable; car il ne renfermait pas moins de... 30,45 d'acide carbonique, ce qui supposerait... 69,12 p. 100 de carbonate de chaux. Ce résultat est très-extraordinaire; il tient sans doute à ce que les réactifs introduits par le procédé d'embaumement ont déterminé la formation d'un carbonate de chaux aux dépens du phosphate; c'est, par exemple, ce que pourrait produire un carbo-

(1) *Études chimiques et physiologiques sur les os*, p. 155.
(2) Pelouze et Frémy. *Traité de chimie*, 2e édit., t. VI, p. 269.

nate alcalin? Quoi qu'il en soit, ce crâne de momie a subi une préparation particulière; car il est entouré de bandelettes à l'intérieur comme à l'extérieur; il a été ramolli, déformé, et il a même presque entièrement perdu sa structure.

Du reste, les dents de momie peuvent aussi donner un résultat analogue au précédent; puisque M. Lassaigne a trouvé dans l'une d'elles... 15,5 p. 100 de carbonate de chaux, bien que la dent de l'homme adulte n'en ait pas plus de... 10.

Les dents fossiles, au contraire, peuvent quelquefois perdre la plus grande partie de leur carbonate de chaux; en effet, une dent de squale du miocène n'avait plus que... 5,46 de carbonate de chaux, tandis que celle d'un squale vivant en contient... 13,9 et 33,5 de matière organique (1).

Malgré la difficulté d'une comparaison précise, les exemples que je viens de citer montrent bien que le carbonate de chaux des os peut diminuer dans la fossilisation; c'est en particulier ce qui a lieu pendant la première période, celle pendant laquelle l'osséine est détruite.

La proportion de ce carbonate qui est enlevée, est même assez forte et cela tient, sans doute, à ce que, sortant d'une combinaison très-intime avec l'osséine, il est facilement soluble dans les eaux souterraines. Toujours est-il que, le carbonate de chaux des roches calcaires se dissout en proportion beaucoup moindre.

Bien que le carbonate de chaux qui constitue les os puisse disparaître en partie par la fossilisation, il augmente cependant très-fréquemment dans les os fossiles. Il faut alors l'attribuer à ce que ces os ont été impré- 33. Augmentation du carbonate chaux.

(1) Dumas. *Traité de chimie*, t. VI, p. 686.

gnés par des infiltrations calcaires ou bien à ce que leur carbonate de chaux originaire a mieux résisté à la destruction.

L'examen des os enfouis dans des couches calcaires montre d'ailleurs que leurs cellules sont tapissées par de la chaux carbonatée ou par d'autres carbonates qui se distinguent très-facilement. Quelquefois même leurs cellules en sont entièrement remplies. Comme le carbonate de chaux se rencontre, non-seulement dans presque toutes les roches, mais encore dans les eaux d'infiltration, il est facile de comprendre pourquoi il augmente généralement dans les os fossiles.

Parmi les os que j'ai essayés, ceux qui sont imprégnés de chaux carbonatée sont très-pauvres en matière organique. Cela tient sans doute à ce que cette matière a été détruite par l'infiltration des eaux qui ont déposé la chaux carbonatée. Les os déjà anciens et enfouis dans des couches calcaires, notamment dans le terrain jurassique, sont surtout fortement imprégnés de chaux carbonatée. Il en est de même pour les os des cavernes, bien qu'ils soient récents ; car ces cavernes sont généralement pratiquées dans des couches calcaires. MM. Girardin et Preisser ont trouvé... 31,09 de carbonate de chaux, dans un os d'ichthyosaure de l'argile marneuse de Dives. J'en ai trouvé à peu près autant dans une vertèbre d'ichthyosaure de l'oolite de Lacaisne. Dans un os d'ours fossile, M. Frémy a obtenu... 23,6 de carbonate de chaux pour la partie dense et à peu près 3 fois plus pour la partie celluleuse (1).

Les os les plus compactes peuvent être imprégnés par la chaux carbonatée, et je citerai particulièrement les côtes de lamantin. Tandis qu'un lamantin vivant contenait

(1) Pelouze et Frémy. *Traité de chimie*, t. VI, p. 279.

seulement... 8,05 de carbonate de chaux, j'en ai trouvé plus de 10 p. 100 dans les lamantins fossiles du miocène.

Les dents et les défenses, bien que leur tissu soit extrêmement serré, sont elles-mêmes fortement imprégnées par de la chaux carbonatée; c'est particulièrement bien sensible pour celles de Sansan qui se trouvent dans des couches calcaires. Toutes les défenses fossiles provenant d'éléphants et de mastodontes que j'ai essayées contenaient même beaucoup plus de chaux carbonatée qu'il n'y en a dans les défenses de l'éléphant vivant.

Les bois de ruminants donnent lieu à la même remarque; car un cerf du terrain diluvien renfermait beaucoup plus de chaux carbonatée que le cervus megaceros des tourbières de l'Irlande et que le cerf commun (1).

La chaux carbonatée est de tous les minéraux celui qui imprègne le plus souvent les os; elle les imprègne d'autant plus qu'ils sont plus celluleux et dans un terrain plus calcaire. Cependant les os les plus compactes, les dents et les défenses ont généralement un excès de chaux carbonatée.

Observons maintenant que tous les os fossiles contenant beaucoup de chaux carbonatée ont, par cela même, une grande densité. C'est particulièrement bien visible pour la vertèbre d'ichthyosaure n° (18), pour la défense de mastodonte de Sansan n° (29), pour le bois de cerf du terrain diluvien n° (32).

Si le crâne gallo-romain de Précy n° (7) a une densité supérieure au crâne de Denise n° (6), cela tient également à ce que dans dans les alluvions de l'Oise dans lesquels il était enfoui, il a été imprégné par de la chaux carbonatée; il renferme, en effet, un peu plus d'azote que ce dernier, et par conséquent il est moins ancien.

---

(1) Pelouze et Frémy. *Traité de chimie*, t. IV, p. 288.

Si l'on considère le phosphate de chaux des os fossiles, il peut également subir soit une diminution, soit une augmentation.

§ 24. Diminution du phosphate de chaux.

D'abord, quand les os viennnent à être imprégnés par une substance minérale, comme la chaux carbonatée, la pyrite, la proportion du phosphate de chaux dans l'unité de poids tend nécessairement à diminuer. Maintenant M. Dumas a observé qu'il suffit de laisser pendant vingt-quatre heures de l'ivoire dans de l'eau fortement chargée d'acide carbonique pour dissoudre ses sels calcaires (1). Or l'eau qui s'infiltre dans l'intérieur de la terre peut contenir de l'acide carbonique qui dissout plus ou moins le carbonate ou le phosphate de chaux. En outre, M. A. Milne-Edwards a constaté que l'eau chargée d'acide carbonique dissout plus facilement le phosphate que le carbonate de chaux; par suite la proportion du phosphate tend, dans ce cas, à diminuer, et au contraire celle du carbonate à augmenter. On conçoit d'après cela que, dans les os fossiles, le phosphate de chaux puisse diminuer considérablement et même tomber à 25 p. 100, comme l'a constaté M. Frémy.

§ 25. Augmentation du phosphate de chaux.

D'un autre côté, à part les cas qui viennent d'être mentionnés, le phosphate de chaux qui est peu soluble doit naturellement augmenter à mesure que l'osséine se détruit et au-dessous du terrain diluvien, cette dernière a presque complétement disparu. Les analyses d'os fossiles faites par MM. Frémy, Girardin et Preisser, montrent, en effet, que le phosphate de chaux peut s'élever jusqu'à 80 p. 100 dans les os fossiles, tandis qu'en moyenne il n'est guère que de 60 p. 100 dans les os à l'état normal.

Un os fossile subit donc des altérations très-complexes. D'abord sa porosité et sa densité augmentent. En outre, son osséine se détruit, et le rapport entre ses

sels calcaires est plus ou moins modifié ; ce rapport peut même être complétement inversé. Dans la première phase de sa fossilisation, l'os qui conserve une grande partie de son osséine, et fait une effervescence lente dans l'acide, perd un peu de son carbonate de chaux ; dans la deuxième phase, son osséine a disparu presque entièrement ; il happe à la langue et il fait une effervescence vive dans l'acide ; alors le carbonate de chaux tend généralement à augmenter plus rapidement que le phosphate.

Indépendamment des métamorphoses qui viennent d'être signalées, les débris animaux peuvent en subir un grand nombre d'autres qui sont même plus complètes et dans lesquelles ils conservent cependant leurs formes ; ils offrent alors des pseudomorphoses (1). § 34. Pseudomorphoses des animaux.

Ces pseudomorphoses ne sont pas aussi variées pour les os que pour les autres corps organisés ; en sorte qu'il suffira d'en mentionner quelques-unes.

Par exemple, les os des fahluns de la Touraine qui se trouvent dans des sables granitiques sont durs, très-pesants et de couleur brune : cette couleur est beaucoup plus foncée vers leur périphérie et ils ont visiblement été imprégnés par de l'oxyde de fer, cheminant de l'extérieur à l'intérieur ; ils se sont changés en partie en phosphate de fer. Dans une vertèbre d'ichthyosaure de l'argile de Dives, MM Girardin et Preisser ont d'ailleurs trouvé 16 p. 100 de phosphate de fer.

Le phosphate de chaux des coprolites subit quelquefois la même transformation que celui des os ; c'est en particulier ce qu'on observe pour des coprolites du muschelkalk de la Lorraine.

---

(1) *Annales des mines*, 1859, t. XV. Recherches sur les pseudomorphoses, p. 379.

La transformation partielle des os en phosphate de fer est du reste très-fréquente ; elle tient à la grande affinité de l'acide phosphorique pour le fer, et elle se produit chaque fois que des os fossiles sont exposés à des infiltrations ferrugineuses. Généralement ces os sont imprégnés en même temps de carbonate de fer, car ils font généralement une effervescence lente dans l'acide chlorhydrique.

Quelquefois aussi les os deviennent brun-noirâtres vers leur surface, et ils se chargent d'oxyde de manganèse; c'est en particulier ce qu'on observe pour certains os celtiques que M. E. Robert a trouvés enfouis dans les sables marins supérieurs près du château de Meudon.

La grande affinité de l'acide phosphorique pour le cuivre explique de même pourquoi les os fossiles prennent une couleur verte et se changent en phosphate à base de cuivre, lorsqu'ils sont accidentellement traversés par des infiltrations de ce métal.

Certaines défenses de mastodonte de Simorre ont une très-belle couleur bleue qui les fait ressembler à la turquoise et on les a même employées dans la bijouterie. L'analyse a montré que ces défenses ne contiennent pas d'oxyde de cuivre et il me paraît vraisemblable qu'elles ont été métamorphosées en un phosphate d'alumine, de magnésie et de fer ayant la composition du lazulite.

Les analyses d'os fossiles, particulièrement celles de M. Frémy, font voir en outre qu'ils peuvent contenir de la silice ou des matières siliceuses.

Quand les os sont dans les argiles et dans les combustibles, ils sont souvent complétement imprégnés par de la pyrite de fer qui se forme d'ailleurs aux dépens de leur matière organique.

Enfin, les os sont encore imprégnés et quelquefois même pseudomorphosés par quelques autres substances minérales.

§ 37. Animaux disparus depuis une époque peu reculée.

Lorsque les animaux vertébrés sont enfouis dans le sol, l'osséine de leur squelette subit, comme nous l'avons constaté, une destruction lente qui progresse avec le temps, et qui peut jusqu'à un certain point en donner une mesure. A part des gisements très-exceptionnels, comme le terrain glaciaire de la Sibérie en offre un exemple, la présence d'une grande proportion d'osséine ou d'azote dans un os fossile indiquera qu'il remonte à une époque peu reculée. Il convient d'après cela de signaler spécialement ici les résultats obtenus pour quelques animaux qui ont disparu des contrées dans lesquelles se trouvent leurs ossements, ou qui sont même complétement éteints.

Ainsi les hyènes, dont les débris se rencontrent dans les cavernes et dans les brèches osseuses de France et d'Angleterre, ont donné une grande proportion d'azote. Les essais faits sur leurs os, leurs dents, leurs coprolites sont concordants sous ce rapport; ils indiquent plus de matières organiques que dans certains os humains qui ne remontent pas au delà de deux mille ans. Par conséquent, le sol de la France et de l'Angleterre était habité par des hyènes à une époque à laquelle l'homme s'y trouvait déjà (§ 22).

L'étude de la faune des brèches osseuses et des cavernes tendrait d'ailleurs à confirmer cette déduction de l'analyse; puisque, d'après quelques paléontologistes, la hyæna spelæa ne différerait pas essentiellement de la hyène tachetée (hyæna crocuta) du cap de Bonne-Espérance. En outre, d'après M. Émilien Dumas, des ossements humains trouvés dans la caverne de Pondres sont au-dessous d'une couche con-

tenant des ossements et des coprolites de hyènes (1).

Des observations analogues ont été faites en Amérique. MM. Lund et Claussen ont constaté, en effet, que des os appartenant à des espèces complétement éteintes, notamment au Platonyx Cuvieri, étaient mêlés dans les cavernes du Brésil avec des ossements humains; et cependant le sol de ces cavernes était recouvert de stalagmites, et ne paraissait aucunement avoir été fouillé.

D'après M. Lartet, l'homme aurait aussi vécu en Europe avec des animaux antédiluviens et serait lui-même la cause principale de leur destruction. Toujours est-il que, depuis sa création et même depuis les temps historiques, divers animaux ont disparu complétement, soit de certaines contrées, soit de la surface du globe.

Enfin, remarquons encore que la grande proportion d'azote trouvée dans certains os provenant des cavernes, des brèches osseuses, des terrains diluviens formés sur les collines, nous indique qu'ils doivent remonter à une époque relativement récente, ou du moins bien postérieure à celle du terrain diluvien qui a rempli le fond des vallées.

(La suite à la prochaine livraison.)

---

(1) Paul Gervais. *Zoologie et Paléontologie françaises*, 2e édition, p. 396.

RECHERCHES

DE L'AZOTE ET DES MATIÈRES ORGANIQUES DANS L'ÉCORCE TERRESTRE.

Par M. DELESSE.

(SUITE.)

VÉGÉTAUX.

Les végétaux ont apparu sur notre globe depuis une époque extrêmement reculée, car on les trouve dans les terrains stratifiés les plus anciens. Sir Roderick Murchison a signalé de l'anthracite et du bitume jusque dans les couches de Longmynd (1). En outre, M. Nicol a observé une structure fibreuse et tubulaire dans les cendres d'une anthracite de Peebleshire qui appartient au silurien inférieur. On ne saurait douter par conséquent que les végétaux n'existent depuis l'époque du silurien; mais ils paraissent avoir d'abord été marins, et c'est seulement dans le terrain dévonien qu'on rencontre des végétaux terrestres bien reconnaissables. Ils se continuent d'ailleurs dans toute la série des terrains jusqu'à l'époque actuelle (2); aussi les végétaux sont-ils, de tous les corps organisés, ceux qui permettent le mieux d'apprécier les effets de la fossilisation. Végétaux.

§ 38. Bois, tourbe, lignite, houille, anthracite.

Il suffit, en effet, de comparer les végétaux actuels avec les combustibles des divers terrains. Or, lorsqu'on examine sous le microscope la tourbe, le lignite, la

(1) Murchison. *Silurian System*, 1854, p. 492.
(2) Bernhard von Cotta. *Geologische Fragen*, 1858, p. 175.

houille et même l'anthracite, il est facile de reconnaître que ces combustibles ont plus ou moins conservé de traces de leur organisation primitive; ils représentent divers degrés de fossilisation ou de métamorphisme des végétaux.

Quand ces végétaux fossiles sont soumis à la distillation, ils dégagent généralement des matières volatiles inflammables et bitumineuses. Avec l'anthracite, le papier de tournesol rougi est ramené au bleu et il se forme encore de l'ammoniaque; mais il n'y a plus dépôt de matières bitumineuses.

Sans entrer ici dans le détail des métamorphoses que les végétaux subissent dans la fossilisation, contentons-nous de rechercher comment varie leur azote. Il suffit pour cela de jeter les yeux sur le *Tableau* I.

Pour que la comparaison ne laissât rien à désirer, il serait nécessaire de suivre un même végétal dans les différents terrains; mais, de même que les animaux, les végétaux changent avec les terrains; il faut donc, autant que possible, comparer seulement ceux qui appartiennent à la même classe. Maintenant l'azote est réparti très-inégalement dans un même végétal. On sait, en effet, par les recherches de M. Payen, que les graines et les tissus à l'état naissant sont particulièrement riches en matières azotées. Les feuilles sont aussi beaucoup plus riches que le bois. C'est dans l'écorce que se rencontrent certains alcaloïdes azotés tels que la quinine. D'après cela, il était utile de déterminer l'azote, non-seulement dans les plantes qui ont formé les combustibles fossiles, mais encore dans leurs principales parties.

Les végétaux acotylédonés d'ordre inférieur peuvent avoir une proportion d'azote tellement grande qu'ils se rapprochent sous ce rapport des matières animales. C'est en particulier ce qui a lieu pour le champignon

comestible, *Agaricus campestris*, cultivé dans les anciennes carrières des environs de Paris qui contient jusqu'à 45 millièmes d'azote. Les conferves et les végétaux microscopiques qui se développent sur les matières animales en décomposition sont même susceptibles d'en renfermer davantage. Mais il y a beaucoup moins d'azote dans les végétaux acotylédonés qui ont essentiellement formé les combustibles fossiles.

Si l'on considère d'abord la tourbe, elle provient généralement de mousses et de plantes de marais. Or, dans une mousse, l'*Hypnum triquetrum*, j'ai trouvé seulement... 7,74 d'azote pour la partie supérieure verte, et 5,75 pour la partie inférieure flétrie. Le roseau n'en a que... 9,61. Des troncs d'arbre se rencontrent quelquefois dans les tourbières; et, dans le bois de chêne, l'azote est de... 5,4, il se réduit même à... 1,6 dans le bois de sapin. Les feuilles d'arbres, qui peuvent également former de la tourbe, sont, il est vrai, beaucoup plus riches, puisque celles de hêtre ou de chêne ont au delà de... 11 d'azote; toutefois elles sont encore notablement moins riches que la tourbe. Car M. Regnault a constaté que la tourbe de Vulcaire contient... 20,90 d'azote; il y en a même... 27,60 dans celle du Fichtelgebirge et... 32,50 dans celle de Dürrheim (1). La tourbe renferme donc plus d'azote que la mousse et même que les feuilles des arbres habituels de nos climats. Ce résultat bizarre doit d'ailleurs tenir à ce que les matières organiques azotées qui contribuent à former la tourbe sont très-variées, et surtout à ce que son acide ulmique peut absorber des matières azotées et en particulier l'ammoniaque des eaux tourbeuses.

L'anthracite, la houille, ainsi que les combustibles

(1) Fickenscher. — Moser. *Die Torfwirthschaft in Fichtelgebirge*. — Nessler. *Neues Jahrbuch*, 1861, p. 82.

triasiques, jurassiques et wealdiens, proviennent surtout de fougères et de lycopodiacées; en sorte qu'il était intéressant d'examiner spécialement les végétaux de ces familles qui vivent encore actuellement. Leur densité mérite d'abord de fixer l'attention. Remarquons qu'elle est faible pour certaines parties celluleuses qui doivent se détruire rapidement dans la fossilisation; mais pour les parties destinées à se conserver, elle est au contraire assez grande. Ainsi, les feuilles complétement desséchées d'une fougère arborescente avaient une densité de... 0,796, tandis que, pour la tige et les feuilles d'une mousse encore verte, la densité était seulement de... 0,729. Il est donc visible que les feuilles ont généralement une densité plus grande dans les fougères que dans les arbres de nos climats. D'un autre côté, tandis que pour le bois de ces derniers la densité n'est que de... 0,70 en moyenne, j'ai trouvé qu'elle s'élève à... 0,844 pour la tige du *Lycopodium phlegmaria*, et même à... 1,30 pour le bois d'une fougère arborescente; par conséquent, dans les fougères, la densité du bois peut devenir égale à celle de la houille elle-même. Comme les fougères et les lycopodiacées étaient très-dominantes à l'époque houillère, les plantes qui ont formé la houille avaient donc déjà une densité assez élevée, qui a dû augmenter encore dans la fossilisation.

Recherchons maintenant l'azote dans les fougères et dans les lycopodiacées.

Il est facile de constater que les feuilles de fougère sont riches en azote; car j'en ai obtenu... 14,59 pour une cyathée arborescente de l'île Bourbon, et... 13,92 pour une fougère de nos climats. Ces feuilles en ont plus que celles des arbres habituels de nos forêts. Dans le ligneux des fougères il existe au contraire très-peu d'azote; ainsi, le ligneux noir, provenant d'un tronc

de cyathée arborescente, contenait seulement... 1,77 d'azote, soit 12 pour 100 de l'azote trouvé dans la feuille. Dans les racines, l'azote était égal à 6,26; par conséquent il paraît intermédiaire entre celui des feuilles et du ligneux. On voit que les feuilles de fougère ont beaucoup plus d'azote que les autres parties du végétal; les graines qui se trouvent sous ces feuilles tendent du reste à l'augmenter encore, puisqu'elles renferment toujours une quantité d'azote suffisante pour permettre le développement de la jeune plante.

J'ai opéré également sur des lycopodiacées de Taïti, qui ont été mises à ma disposition par M. Ad. Brongniart. Leur azote a varié de... 11 à... 7. Dans le *Lycopodium phlegmaria*, la tige, débarrassée de ses folioles, en avait encore... 9,07. Les lycopodiacées paraissent aussi être riches en azote; elles n'en ont pas moins que les mousses qui forment la tourbe dans laquelle on en trouve beaucoup.

Tandis que le bois d'une cyathée arborescente contient... 1,77 d'azote, celui du sapin en a... 1,6 et celui du chêne... 5,4; par suite, en moyenne, il y a moins d'azote dans le bois des fougères arborescentes que dans celui des arbres de nos climats.

Il était surtout intéressant de comparer l'azote dans des combustibles provenant des différents terrains. Le tableau montre que leur azote tend assez généralement à diminuer avec l'âge. Cependant des lignites, comme ceux qui sont xyloïdes ou formés par du bois, et des houilles récentes, comme celles du terrain wealdien et keuperien, peuvent en avoir moins que certaines houilles du terrain houiller. Dans ces dernières, l'azote est même assez variable, bien qu'il atteigne... 12,50 dans la houille de Düren, il se réduit à... 8,80 dans celle de Zwikau et même à... 4,10 dans la houille sèche du pays

de Galles. Dans l'anthracite, il ne disparaît pas entièrement et il est encore de quelques millièmes, comme le montrent les analyses complètes de ce combustible qui ont été faites par M. V. Regnault.

§ 39. Boghead. Le Boghead d'Écosse ou torbanite est un schiste houiller qui a été imprégné de matières bitumineuses, résultant de la distillation éprouvée par la houille au contact d'un trapp. Il contient de 20 à 25 p. 100 de cendres et d'après M. Anderson, sa proportion d'azote est de... 5,5. M. Mather indique même... 7,77 (1).

§ 40. Dusodile. Le dusodile est, comme l'on sait, un combustible papyracé composé en grande partie des débris d'infusoires, qui donne beaucoup de cendres et brûle avec une odeur très-désagréable. J'en ai examiné une première variété qui provient de Saalhausen. Il est papyracé et brun grisâtre ; il laisse après calcination et grillage un résidu de 45,4 p. 100 qui consiste pour la plus grande partie en silice soluble dans la potasse. Chauffé dans le tube, il donne une distillation acide, puis alcaline ; il dépose du bitume et répand une odeur très-désagréable. Sa proportion d'azote est de... 5,88. Une autre variété de dusodile, qui est jaunâtre et qui provient de Mililli en Sicile, m'a donné... 5,63. Les deux résultats sont donc concordants.

Même en tenant compte des matières terreuses mélangées au dusodile, l'azote ne s'y trouve pas en proportion si grande que dans la tourbe et dans certaines houilles qui ont conservé leurs matières volatiles.

En résumé, les combustibles fossiles sont formés de carbone, d'oxygène, d'hydrogène et d'azote. Ils s'enrichissent en carbone avec l'âge et par la fossilisation. Ils perdent les éléments qui les composent à l'état d'acide

(1) Rammelsberg. *Handbuch der Mineralchemie*, 1860, p. 954. — Gregg and Lettsom. *Manual of Mineralogy*, p. 16.

carbonique, de gaz des marais, de gaz oléfiant, d'eau, d'ammoniaque, d'azote. Tandis que le carbone augmente et avec lui la densité du combustible, l'oxygène, l'hydrogène et l'azote vont successivement en diminuant. C'est d'ailleurs ce qui explique pourquoi la proportion de matières volatiles et bitumineuses se réduit de plus en plus (1).

L'azote des combustibles fossiles dépend nécessairement de la nature des végétaux qui les ont formés originairement. Toutes choses égales, il doit augmenter d'autant plus que ces combustibles renfermaient plus de feuilles et moins de bois. § 41. Origine des combustibles fossiles.

D'un autre côté, il dépend aussi, dans certaines limites, de l'âge des combustibles. Il diminue généralement dans la tourbe, le lignite, la houille grasse, la houille maigre, l'anthracite. Les exceptions tiennent au gisement des combustibles et surtout à leur composition originaire qui est très-variable.

L'azote des combustibles est visiblement en relation avec leurs matières solubles ou volatiles, et il se réduit avec elles. L'anthracite dans lequel il ne reste plus qu'une très-faible proportion de ces matières, contient cependant plus d'azote que la plupart des substances minérales. Il en contient même plus que les débris d'animaux et de vertébrés qui sont antérieurs au terrain diluvien.

Bien que l'azote tende à disparaître avec l'âge des végétaux enfouis, on peut remarquer qu'il en reste encore une proportion très-notable dans les combustibles fossiles. C'est surtout bien sensible quand on compare leur azote avec celui des végétaux qui leur ont donné

---

(1) Voir à ce sujet V. Regnault, Liebig, Richardson, G. Bischof et le mémoire de M. de Marsilly, *Annales des mines*, 5ᵉ série, t. XII, p. 411.

naissance. On voit alors que la tourbe, le lignite et même la houille renferment plus d'azote que la moyenne des bois de la flore actuelle. Dans toutes les houilles et même dans l'anthracite, il y en a plus que dans le bois des fougères arborescentes. Par conséquent, il est vraisemblable que les feuilles des végétaux ont beaucoup plus contribué que leurs bois à former la houille et les combustibles fossiles.

Ce résultat vient d'ailleurs jeter une lumière inattendue sur l'origine de la houille. On sait, en effet, que la houille a quelquefois été attribuée à des accumulations de bois flotté. Mais il est facile de comprendre que dans cette hypothèse les feuilles, les écorces, les racines et en général les parties molles auraient été détruites, tandis que les parties dures comme le tronc et les branches, c'est-à-dire le bois, auraient seules résisté. Et alors il deviendrait très-difficile d'expliquer comment la houille et les combustibles fossiles peuvent contenir plus d'azote que le bois.

Il n'en sera plus de même si nous supposons, avec M. Élie de Beaumont, que les végétaux qui ont formé la houille se sont développés sur place. Car ces végétaux étaient essentiellement acotylédonés. Ils devaient être, au moins en partie, herbacés. Ceux qui étaient arborescents avaient des tiges qui, à volume égal, fournissaient beaucoup moins de bois que les arbres de nos climats. Du reste, les fougères y étaient très-abondantes et leurs feuilles, qui sont dures, épaisses et résistent bien à la destruction, composaient souvent la plus grande partie du végétal. Les débris de ces végétaux acotylédonés étaient donc beaucoup plus riches en azote que le bois, et tout porte à croire qu'ils se sont développés dans des marais, comme les mousses qui engendrent la tourbe à l'époque actuelle.

L'azote contenu dans les combustibles fossiles est quelquefois en proportion assez grande pour qu'on ait songé à l'utiliser à la fabrication des sels ammoniacaux. C'est notamment ce qui a lieu pour la tourbe, et on sait que du chlorhydrate d'ammoniaque se recueille dans la fabrication du gaz de l'éclairage. A Malovka en Russie, la *houille* est même distillée spécialement pour l'extraction des sels ammoniacaux (1). Elle présente d'ailleurs des caractères tout particuliers; elle est trop argileuse pour être brûlée et d'un autre côté, par sa couleur brune, par sa grande proportion d'eau et de matières volatiles, elle se rapproche complétement du lignite. Si cette houille de Russie a conservé ses matières volatiles, beaucoup mieux que les combustibles de même âge, il faut l'attribuer sans doute à son gisement, mais peut-être aussi à son argile; car l'argile, particulièrement l'argile magnésienne, a une grande affinité pour les matières organiques (§ 6).

§ 42. Fabrication des sels ammoniacaux avec les combustibles fossiles.

Les végétaux fossiles sont pseudomorphosés beaucoup plus souvent que les os fossiles. Ce résultat semble très-bizarre au premier abord, et on serait naturellement porté à croire que le phosphate et le carbonate de chaux doivent au contraire moins bien résister à la fossilisation que le carbone. Mais pour que les végétaux ne soient pas détruits, certaines conditions sont nécessaires; il faut en particulier que l'argile ou bien une couche imperméable les protége contre l'infiltration. On sait que c'est le cas habituel pour les combustibles qui sont compris entre des couches d'argile ou de schiste. L'expérience montre d'un autre côté que si des végétaux sont complétement isolés dans les grès, les calcaires, les gypses, les tufs, en un mot dans les roches

§ 43. Pseudomorphoses des végétaux.

(1) Guillemin. *Explorations minéralogiques dans la Russie d'Europe*, 1860, p. 18.

poreuses, ils s'altèrent généralement beaucoup plus que les os. Alors leur carbone est facilement déplacé, ce qui tient sans doute à une combustion lente opérée par l'oxygène dissous dans l'eau d'infiltration; en même temps la silice ou les substances minérales renfermées dans cette eau se substituent peu à peu au carbone, en sorte qu'elles prennent exactement la forme du végétal.

§ 44. *Résumé sur les corps organisés.* Les recherches faites sur les animaux et sur les végétaux fossiles montrent qu'ils retiennent une partie de leurs matières organiques, même après des durées tellement grandes qu'elles effrayent notre imagination.

Ces matières organiques peuvent être aisément reconnues par divers procédés, notamment par la distillation, par l'attaque avec un acide. Elles renferment d'ailleurs de l'azote qui se laisse doser avec une très-grande précision et qui permet, en quelque sorte, de les évaluer.

L'azote des corps organisés fossiles éprouve des variations qui sont dues à des causes très-complexes. Il dépend, en effet, de leur nature, de leur gisement, de leur métamorphisme.

L'état physique du corps considéré exerce d'abord quelque influence sur la conservation de ses matières organiques. Quand il est poreux, il est par cela même très-perméable et les infiltrations de substances minérales l'imprègnent plus aisément. La facilité avec laquelle un corps organisé s'altère dans la fossilisation augmente, toutes choses égales, avec sa porosité.

La nature et la composition chimique de ce corps exercent également une grande influence. Les animaux, par exemple, se détruisent beaucoup plus rapidement que les végétaux. Quoique les végétaux renferment à peine des substances minérales, ils sont même relativement peu altérables, et leur structure

peut se conserver dans la fossilisation. Il faut l'attribuer à ce qu'ils sont essentiellement formés de carbone qui résiste très-bien aux divers agents.

Le gisement du corps organisé exerce aussi de l'influence sur sa proportion d'azote. Car lorsque ce corps se trouve dans une roche perméable, qui est sans cesse baignée par l'eau, l'infiltration s'y opère facilement et tend à détruire ses matières organiques. C'est ce qui explique pourquoi, dans certaines roches désagrégées et facilement imprégnées par l'eau, les os et les coquilles tombent en poussière, lorsqu'on veut les recueillir; tandis que, dans d'autres, les os sont durs et bien conservés, les coquilles décorées de leurs couleurs et de leur éclat nacré.

La composition minéralogique de la roche dans laquelle les débris organisés sont enfouis, est encore importante à considérer, parce qu'elle contribue à faire varier les substances contenues dans l'eau d'infiltration. Il est donc facile de concevoir pourquoi les mêmes débris résistent d'une manière très-inégale dans des gisements différents.

Enfin, les corps organisés fossiles sont sujets à des altérations plus ou moins profondes dans lesquelles ils conservent leur forme. Ainsi, les os n'ont plus leur composition originaire; non-seulement leurs matières organiques ont été presque entièrement détruites, mais leurs matières minérales elles-mêmes ont été plus ou moins dissoutes et quelquefois remplacées par d'autres.

C'est surtout la chaux carbonatée qui imprègne les os et qui tapisse leurs cellules; d'un autre côté, la silice remplace fréquemment le bois et le têt calcaire des mollusques. Dans les roches argileuses la pyrite de fer se substitue d'ailleurs à tous les corps organisés.

En définitive, dans la fossilisation, les animaux et les

végétaux peuvent, en conservant leur forme, éprouver des modifications dans leur composition chimique et perdre non-seulement leurs matières organiques, mais encore leurs matières minérales. L'étude de ces modifications rentre dans celle du pseudomorphisme qui a déjà été faite précédemment(1). Les causes qui la produisent sont les mêmes que pour le métamorphisme, et elles sont très-complexes. Elles agissent à la fois sur les corps organisés et sur les roches qui les contiennent, mais leurs effets sont plus faciles à apprécier sur les corps organisés, parce que leur composition originaire est mieux connue.

Les recherches précédentes ont montré que les débris laissés par un animal ou par un végétal fossile, présentent une composition qui, dans certaines limites est en relation avec leur âge. C'est surtout bien visible pour les végétaux qui passent successivement à l'état de bois, de tourbe, de lignite, de houille, d'anthracite, à mesure qu'on descend dans la série des terrains. Peu à peu ils s'enrichissent en carbone et s'appauvrissent en azote; en sorte qu'un simple dosage d'azote suffit jusqu'à un certain point pour indiquer leur âge.

Il faut observer, cependant, qu'il existe de nombreuses exceptions à cette règle; car des circonstances spéciales produisent, dans les végétaux fossiles, les mêmes métamorphoses que le temps. Ainsi, bien que l'anthracite soit généralement dans les terrains anciens, il se rencontre également dans les terrains récents et même jusque dans les terrains tertiaires qui ont été métamorphosés. Toujours est-il que la composition minéralogique et chimique des végétaux fossiles peut déjà donner quelque indication sur leur âge.

---

(1) *Annales des mines*, 1859, t. XV, p. 379. Recherches sur les pseudomorphoses.

La même remarque s'applique à certains débris laissés par les animaux, notamment aux os, aux dents. Ces débris contiennent, en effet, des matières organiques qui résistent à la fossilisation pendant des périodes indéfinies de siècles et qui vont en diminuant à mesure qu'on descend dans la série des terrains. Le dosage de l'azote permet encore de le constater aisément.

Comme, dans la fossilisation, les animaux s'altèrent plus facilement que les végétaux et, comme ils sont beaucoup moins comparables entre eux, la relation n'est pas aussi nette. Cependant leur azote présente des variations très-sensibles, et toutes choses égales, il diminue à mesure que l'âge augmente.

Quand on considère des durées énormes comme celles qui sont nécessaires à la formation des terrains, les différences sont, il est vrai, très-faibles; car les matières organiques ont disparu presque complétement dès qu'on descend dans le terrain tertiaire. Toutefois il n'en est plus de même pour les fossiles du terrain diluvien et de l'époque actuelle. Les os humains, par exemple, présentent de grandes différences et ils contiennent d'autant moins d'azote qu'ils sont plus anciens. Les os à la partie inférieure du terrain diluvien en ont moins que ceux qui sont à la partie supérieure. On trouve même dans les cavernes et sur les flancs des collines, des os appartenant à des hyènes et à des espèces perdues, qui renferment autant de matières organiques que les os humains, remontant à une haute antiquité. L'analyse indique donc que notre sol a été habité par les hyènes à une époque qui n'est pas très-éloignée de nous; elle indique aussi que l'homme a vécu en même temps que des espèces perdues, fait très-important, admis déjà par plusieurs géologues et qui paraît confirmé par des recherches récentes.

Ainsi, le dosage de l'azote permet de contrôler les

données de l'archéologie et de la géologie ; il peut fournir, dans certaines limites, des indications sur l'âge d'un végétal ou même d'un animal fossile. C'est pour notre globe un chronomètre qui laisse sans doute beaucoup à désirer, mais dans l'état actuel de nos connaissances, il n'y en a guère qui soient plus parfaits.

II. — CORPS NON ORGANISÉS.

MINÉRAUX.

CORPS NON ORGANISÉS. — MINÉRAUX.

Il peut paraître extraordinaire de rechercher les matières organiques dans les minéraux qui sont des corps généralement cristallisés ; mais il est facile de constater qu'ils en renferment le plus souvent, et que même l'azote s'y trouve en quantité assez notable pour que son dosage soit encore possible.

D'ailleurs, les minéraux étant les éléments des roches, il m'a paru nécessaire d'y rechercher d'abord l'azote, et je me suis attaché surtout à ceux qui constituent essentiellement l'écorce terrestre.

Je vais passer en revue les résultats obtenus en suivant l'ordre adopté dans la minéralogie de M. Dana.

(*Tableau* II.)

§ 45. *Corps simples.* Graphite.

Parmi les corps simples le graphite réclamait un examen spécial. Tous les échantillons très-purs que j'ai essayés ont donné à la distillation une odeur empyreumatique bien caractérisée et rappelant celle de la pipe ; en outre, le papier de tournesol rougi a été très-sensiblement ramené au bleu ; par conséquent il s'était dégagé de l'ammoniaque provenant de matières organiques azo-

tées. L'azote est resté compris entre 0,1 et 0,2 millièmes.

On a vu qu'il y a de l'azote dans tous les combustibles minéraux et qu'il diminue généralement à mesure que leur carbone augmente; par suite on pouvait s'attendre à en trouver aussi dans le graphite qui est du carbone cristallisé. Les recherches de M. de Marsilly nous apprennent du reste que la houille perd très-difficilement ses dernière traces d'azote, et qu'il y en a même dans le coke (1). Quelle que soit l'hypothèse adoptée pour expliquer la formation du graphite, on ne doit donc pas être surpris d'y trouver encore de l'azote.

§ 46. *Sulfures.*

Dans les sulfures, il paraît n'y avoir que très-peu de matières organiques. Leur distillation est acide par la formation d'acide sulfureux, et, comme l'a remarqué Berzélius, la pyrite de fer dégage aussi de l'hydrogène sulfuré, quelquefois même du sulfure d'arsenic. Comme les autres minéraux des gîtes métallifères, les sulfures peuvent d'ailleurs se trouver associés à des matières organiques, notamment à des bitumes.

§ 47. *Fluorures, Chlorures.* Chaux fluatée.

La chaux fluatée contient accidentellement des substances minérales qui lui sont mélangées et qui lui communiquent leur couleur; telles sont la chlorite, l'oxyde de fer, les carbonates de cuivre. Toutefois, le plus souvent elle est pure et même transparente; alors, quelle que soit sa couleur, jaune de miel, verte, bleu-verdâtre, j'ai constaté qu'elle donne toujours une odeur empyreumatique et des traces bien sensibles d'azote. Quand on commence à la chauffer dans le tube, elle est remarquablement phosphorescente pendant plusieurs minutes; c'est à cause de cette propriété que les anciens minéralogistes l'ont nommée phosphore smaragdin. Celle

(1) *Annales des mines*, 5ᵉ série, t. XII, p. 347. Études des principales variétés de houille.

qui est vert émeraude prend alors une belle couleur rouge violet. En outre, elle décrépite et elle donne une distillation qui est d'abord alcaline et qui s'opère seulement après la phosphorescence.

Quand elle est calcinée, elle éprouve une perte qui au moins de quelques millièmes et elle devient blanche; par conséquent sa couleur est bien due à des matières organiques qui se détruisent par l'action de la chaleur. M. Kenngott a même constaté que sa couleur pâlit et s'altère par l'action seule de la lumière (1).

La chaux fluatée ayant une couleur foncée paraît contenir une plus grande proportion de matières organiques que celle qui est incolore; toutefois, dans une variété verte que j'ai essayée, il y avait seulement... 0,08 d'azote.

La chaux fluatée bleu violet du granite de Welsendorf est très-remarquable, comme l'a constaté M. Schœnbein, en ce qu'elle donne par le frottement une odeur très-prononcée de chlore. M. Schaffhaütl y a même trouvé :

Azote.	0,207	Carbone.	0,370
Hydrogène.	0,058	Acide hypochloreux. .	0,869

Le chlore y est à l'état d'hypochlorite de chaux.

La distillation de la chaux fluatée qui est d'abord légèrement alcaline devient acide quand on chauffe davantage; cela tient à ce qu'il se dégage un peu de fluoride silicique par suite de la réaction du spath fluor sur des traces de silice qu'il renferme, ou bien sur la silice du tube de verre. Par cela même que la chaux fluatée contient une matière organique azotée, elle peut d'ailleurs renfermer aussi un peu d'acide ni-

(1) Kenngott. *Uebersicht der Resultate mineralogischer Forschungen*, 1854, p. 192.

trique ou de nitrate qui se serait formé aux dépens de cette matière; cet acide nitrique se dégageant par la chaleur a pu donner les réactions qui sont attribuées à l'ozone, et il expliquerait pourquoi l'ozone a été indiqué récemment dans la chaux fluatée?

La cryolite blanche et bien cristallisée du Groënland décrépite par la calcination et donne une odeur empyreumatique; elle ramène aussi le papier de tournesol au bleu, mais plus faiblement que la chaux fluatée verte. Cryolite.

Quelques variétés de sel gemme, notamment celui qui est rouge et qui provient des marnes irisées de Dieuze, ont donné une distillation très-faiblement ammoniacale. Toutefois, en appliquant le procédé employé pour le dosage de l'azote, j'ai obtenu seulement une fraction de division de la burette. Comme la coloration du sel rouge est attribuée à des infusoires appartenant au genre des monades, la faible quantité d'azote trouvée montre que le poids de ces êtres est extrêmement petit; il est facile de s'en assurer en jetant sur un filtre la dissolution de ce sel rouge. Du reste, le sel renferme quelquefois des matières bitumineuses et du gaz hydrogène. Du chlorhydrate d'ammoniaque a même été signalé dans le sel gemme de Hall. Sel gemme.

Les fers oxydulés ne donnent que des traces d'azote et de matières organiques. En effet, la distillation est à peine ammoniacale pour le fer oxydulé terreux (Eisenmulm des minéralogistes allemands), qui, à Eisern, près de Siegen, s'observe au contact d'un filon de basalte avec le fer spathique. Il en est de même pour le fer oxydulé, grenu, à éclat métallique, qui est enclavé dans les roches cristallines de la Finlande. § 48. *Oxydes.* Fer oxydulé.

La pyrolusite de la Romanèche n'a pas donné une plus grande proportion d'azote. Pyrolusite.

Vauquelin, Faraday, Becquerel, Chevallier ont mon- Limonite.

tré que quand le fer s'oxyde au contact de l'air et de l'eau, il se produit de l'ammoniaque; il en est de même quand le protoxyde de fer se suroxyde, et le sesquioxyde qui se forme condense encore l'ammoniaque; il n'est donc pas étonnant que cet alcali se trouve dans les hydroxydes de fer naturel; et c'est, en effet, ce qui a été constaté par MM. de Gasparin et Boussingault (1). Une limonite fibreuse, brune, à éclat métallique du pays de Siegen, m'a donné une distillation légèrement acide et contenait seulement 0,09 d'azote; celle d'Oppeln, qui est ocreuse et qui s'est déposée dans les terrains stratifiés, en avait....0,22.

L'hématite rouge renferme également de l'azote; celle d'Espagne, qui est argileuse et à l'état de sanguine, paraîtrait même en avoir une très-grande proportion.

Quartz. La présence de matières organiques a déjà été signalée par Knox dans le quartz, et leur carbone a même été dosé par Brandes et par Heintz. L'améthyste, par exemple, commence à se décolorer vers 250°, et, sur 1.000, il contient 0,027 de carbone. Il y a de même 0,030 de carbone dans la cornaline; 0,060 à 0,100 dans le silex de couleur pâle ou foncée, et jusqu'à 0,300 dans l'opale brune de Quegstein, qui a l'apparence du bois. Il était surtout intéressant de rechercher l'azote dans le quartz, qui est l'un des éléments essentiels des roches; aussi ai-je examiné ses principales variétés en choisissant particulièrement celles qui diffèrent le plus par leur gisement et par leur origine.

Et d'abord le quartz hyalin du granite contient des matières organiques; calciné, il décrépite légèrement, perd sa couleur grisâtre, devient blanc et opaque; en

(1) De Gasparin. *Cours d'agriculture*, I, 93.

même temps il donne une distillation ammoniacale très-faible, mais cependant bien sensible au papier de tournesol. Dans un cristal de quartz hyalin enfumé et bien exempt d'impuretés, qui provenait du granit d'Alençon, j'ai trouvé... 0,2 d'azote.

Le quartz rose, rosenquartz des minéralogistes allemands, qui se trouve en Bavière, dans l'Altaï, en Sibérie, à Ceylan, donne une distillation à peine alcaline, ou même presque neutre; mais il renferme cependant... 0,11 d'azote. Certaines variétés de quartz ou de silex provenant de Quincy ont une très-belle couleur rose fleur de pêcher, et l'écume de mer du même gisement présente aussi cette particularité. La couleur rose de ces minéraux doit, comme l'a constaté M. Berthier, être attribuée à leur mélange avec une matière organique.

La calcédoine transparente, gris bleuâtre du mélaphyre d'Oberstein, donne une distillation très-faiblement alcaline, et la proportion d'azote y est notablement moindre que dans le quartz enfumé du granite; elle est seulement de 0,07. Dans la sardoine, ou dans la calcédoine brun jaunâtre, le résultat est à peu près le même. Calcédoine, sardoine.

Bien que la différence entre la quantité d'azote dans le quartz du granite et dans la calcédoine du mélaphyre soit très-petite, elle est cependant bien marquée et facilement appréciable; sans aucun doute elle est en relation avec l'origine de ces deux minéraux et des roches qui les renferment.

L'opale, quel que soit son gisement, contient au contraire une proportion très-notable d'azote; calcinée, elle dégage une odeur empyreumatique bien sensible, toutefois sa distillation est tantôt alcaline et tantôt acide. Je l'ai trouvée acide, notamment pour de Opale.

l'opale provenant de la serpentine de Mussinet et du trachyte de Hongrie.

Cette dernière, qui forme un petit filon jaspé et brun jaunâtre traversant le trachyte, renferme... 0,30 d'azote; il y en a... 0,37 dans l'opale résinite blanche, dite hydrophane de Mussinet. L'opale geyserite, qui est gris blanchâtre, fibreuse, concrétionnée, et qui se dépose en stalactites à l'intérieur du grand geyser de l'Islande, ramène fortement au bleu le papier de tournesol rougi, et contient... 0,12 d'azote.

Les matières organiques de l'azote se retrouvent jusque dans l'opale noble, qui est employée pour la bijouterie, et M. Ehrenberg a même constaté qu'il existe des vermets encore bien reconnaissables dans l'opale de feu des trachytes de la Hongrie (1).

L'opale grossière, blanche, brunâtre et résineuse, qui est en rognons dans le calcaire lacustre siliceux des environs de Paris, contient seulement... 0,14 d'azote. Il est remarquable que la proportion d'azote trouvée soit moindre dans l'opale des roches stratifiées que dans celle des roches éruptives; elle est surtout élevée dans l'opale qui forme des filons dans la serpentine et dans le trachyte.

Silex. Le silex gris brunâtre, en rognons dans la craie de Meudon, décrépite, blanchit et donne une distillation légèrement ammoniacale; mais les échantillons que j'ai essayés n'avaient qu'une trace d'azote. Il est encore très-remarquable que le quartz hyalin des roches granitiques renferme plus d'azote que le silex; car ce dernier s'est déposé au fond de la mer, et par suite en même temps que les dépouilles d'une multitude d'animaux.

(1) Ehrenberg. *Mikrogeologie.* — Damour. *Annales des mines*, t. XVII, p. 202.

Les matières organiques du silex, de l'opale, et même du quartz hyalin, peuvent provenir de l'eau en présence de laquelle ces minéraux se sont formés; elles peuvent aussi être attribuées aux infusoires que M. Ehrenberg a observés dans l'eau, même lorsqu'elle a été portée à une température élevée.

Le quartz, l'opale, la limonite, font bien voir que la distillation d'un minéral peut être faiblement alcaline, neutre, ou même acide, quoiqu'il contienne une proportion très-notable d'azote. Par conséquent, bien qu'un minéral donne généralement une distillation d'autant plus alcaline qu'il est plus riche en azote, cela n'a cependant pas toujours lieu.

Les silicates anhydres ont une très-grande importance, et il était bon de les examiner tout spécialement: d'un autre côté, ils ne renferment que très-peu de matières organiques, en sorte que l'azote n'est pas toujours susceptible d'y être dosé. Il est d'ailleurs facile de le comprendre; car, par leur gisement, ils appartiennent aux roches éruptives ou métamorphiques, c'est-à-dire aux roches qui sont éminemment cristallines. § 49. *Silicates.*

Le pyroxène vert, en cristaux énormes, provenant des roches métamorphiques de Thorbjornsbœ, en Norwége, a donné seulement 0,006 d'azote, soit moins de 1 cent-millième. Cependant, dans le tube, la distillation de ce pyroxène donne encore une odeur empyreumatique légère et colore sensiblement en bleu le papier de tournesol. Pyroxène, amphibole.

L'hypershène brun noirâtre a donné une odeur empyreumatique bien prononcée, et a ramené au bleu le papier de tournesol.

Dans toutes les amphiboles qui ont été essayées, la réaction alcaline s'est montrée très-faible.

Émeraude. M. Lewy a signalé une matière organique dans la belle émeraude de Murzo, qui s'est développée dans une roche calcaire noire, et encore fossilifère sur certains points. Cette émeraude contient un peu d'eau et plus d'un millième de matière organique dans laquelle M. Lewy a trouvé : carbone... 0,90, hydrogène... 0,50 (1).

J'ai examiné quelques émeraudes, et leur matière organique renferme aussi de l'azote, en quantité il est vrai très-petite, mais suffisante cependant pour que leur distillation soit faiblement ammoniacale. Ainsi, l'émeraude vert bleuâtre, bien transparente, dite aigue-marine de Sibérie, a donné une distillation très-légèrement alcaline et... 0,04 d'azote.

Par la calcination, l'émeraude décrépite; elle perd en grande partie sa couleur verte, toutefois pas complétement, même en élevant la température; lorsqu'elle est chauffée avec la chaux sodée, pour le dosage de l'azote, elle prend d'ailleurs une belle couleur rose. Par conséquent, la couleur de l'émeraude ne peut être exclusivement attribuée à une matière organique.

Grenat. Un grenat brun rougeâtre de Slatoust, contenant un peu de pyrite de fer, a donné dans le tube une odeur empyreumatique très-sensible et une distillation faiblement acide; cette dernière circonstance tient sans doute à la présence de la pyrite. Le procédé pour le dosage de l'azote appliqué à ce grenat a montré qu'il n'en contenait que des traces.

Wernerite. La wernerite du Vésuve renferme, d'après M. G. Bischof, une matière ammoniacale (2).

---

(1) *Annales de chimie et de physique*, 3e série, t. LIII, p. 5.
(2) Bischof. *Lehrbuch*, t. II, p. 408.

Les matières organiques ont déjà été signalées dans divers micas. En effet, Knox indique dans un mica blanc d'argent une eau bitumineuse et des traces d'ammoniaque. Stein a extrait par l'alcool une matière organique du mica à base de lithine d'Altenberg. G. Bischof a trouvé que le mica ferromagnésien des roches volcaniques du Laacher See donne, à la distillation, une odeur empyreumatique et une réaction alcaline (1). J'ai examiné moi-même divers micas, et j'ai eu soin de choisir particulièrement ceux qui étaient parfaitement purs et qui ne présentaient aucune trace visible d'altération. Le mica sericite nacré, blanc verdâtre et gaufré qui forme le micaschiste de Rasberry Hill en Irlande, m'a donné au papier de tournesol une couleur bleu vif qui a persisté. Avec le mica nacré, blanchâtre et doux au toucher, du micaschiste grenatifère de Tyrone en Irlande, le papier de tournesol a pris au contraire une couleur rouge. Il en a été de même pour le mica phlogopite ou magnésien qui forme des rognons dans le calcaire saccharoïde du Saint-Philippe, près Sainte-Marie-aux-Mines. Micas.

Le mica moscovite, blanc argenté, transparent et à grandes lames, de New-York, donne une distillation d'abord alcaline qui devient acide en chauffant plus fortement. Le mica lépidolithe rose de Saxe, donne au contraire une distillation d'abord acide qui devient ensuite faiblement alcaline.

Ces anomalies apparentes dans la distillation des micas tiennent surtout à la proportion de fluor qu'ils renferment et à la facilité avec laquelle il se dégage par la chaleur à l'état de fluoride de silicique.

Dans le mica sericite il existe à peine du fluor, et la

(1) Bischof. *Lehrbuch*, t. II, p. 1378.

distillation reste alcaline ; dans le mica moscovite elle devient acide quand on chauffe fortement ; dans le mica lépidolite, qui est très-fluoré, elle est acide dès le commencement.

Tous ces micas donnent une odeur empyreumatique bien prononcée qui rappelle celle de la pipe, comme pour la plupart des minéraux.

La quantité d'azote des micas est d'ailleurs très-petite, car elle est seulement de... 0,07 dans le mica moscovite de New-York, et de... 0,01 dans le lépidolite rose de Saxe.

Feldspaths. Un grand nombre de feldspaths ont été chauffés dans le tube fermé, et, comme je l'ai déjà constaté précédemment, la plupart donnent l'odeur empyreumatique et une distillation légèrement alcaline. Je citerai particulièrement parmi ceux que j'ai essayés l'orthose du granite de la pegmatite et du leptynite des Vosges ; la variété vert émeraude, dite pierre des amazones de Sibérie ; la variété à reflets opalins, dite pierre de lune de Ceylan.

Le labrador gris chatoyant de la côte du Labrador a conservé ses reflets et a donné une distillation très-alcaline. Le feldspath saussurite, blanc verdâtre et à éclat gras de l'euphotide du Mont Genèvre, a également donné une distillation alcaline.

Dans l'orthose du porphyre des Vosges, l'azote s'est élevé à... 0,14 ; ce résultat peut paraître extraordinaire, mais il sera contrôlé plus loin par ceux que nous fourniront les roches feldspathiques.

Staurotide, Disthène. La staurotide mâclée des schistes micacés métamorphiques donne une distillation sensiblement alcaline.

Pour le disthène du même gisement, la distillation est fortement alcaline ; la couleur bleue du minéral

résiste d'ailleurs à une calcination trop forte pour qu'elle puisse être attribuée à une matière organique. L'azote trouvé pour un disthène bleu de Pontivy a été de... 0,03.

La topaze offre surtout des résultats remarquables. Chauffée dans le tube, elle donne une distillation acide, comme la plupart des minéraux fluorés. Topaze.

La variété de topaze dite brûlée, qui a une belle couleur jaune rougeâtre, se décolore complétement lorsqu'on la chauffe fortement. Elle dégage alors une matière brun rougeâtre qui se condense en petites gouttelettes isolées vers le haut du tube auquel elle communique la couleur qu'avait d'abord la topaze. Cette matière est d'autant plus abondante que la topaze est plus brune. Elle paraît être bitumineuse ; mais elle est difficilement volatile. Quand la topaze brûlée est chauffée avec la chaux sodée, elle prend d'ailleurs une belle couleur améthyste. La proportion d'azote contenue dans la topaze brûlée et fortement colorée du Brésil est de ... 0,22 ; on voit, par conséquent, que la distillation acide de la topaze doit être attribuée à ce que les effets de l'ammoniaque sont masqués par le dégagement prédominant du fluoride silicique. Comme la topaze brûlée se trouve dans des roches métamorphiques qui sont associées à celles qui forment la gangue du diamant, la présence d'une matière organique bitumineuse est intéressante à y signaler (1).

Parmi les hydrosilicates, le talc nacré, blanc verdâtre, transparent et en grandes lamelles de Sibérie, a donné une distillation fortement alcaline et une odeur empyreumatique piquante. § 50. *Hydrosilicates.*

Pour la stéatite blanche, en petites écailles, dite craie Talc, Stéatite.

(1) *Annales des mines*, t. XVII, 1860, p. 289.

de Briançon, la distillation est au contraire très-peu alcaline. Il en est de même pour la pierre ollaire de Chiavenna, qui est habituellement formé de talc avec un peu de chlorite et avec du fer carbonaté; la proportion d'azote de cette pierre ollaire est seulement de... 0,06.

Chlorite. Une chlorite vert foncé, schisteuse, également susceptible d'être employée comme pierre ollaire, et qui est associée aux roches métamorphiques diamantifères de Sabara, au Brésil, ne renfermait pas d'azote en quantité dosable.

Ecume de mer. L'écume de mer noircit et dégage une odeur empyreumatique. Toutefois, il existe peu de matières organiques dans l'écume de mer, et la variété connue sous le nom de *pierre de savon* du Maroc m'a donné seulement... 0,09 d'azote (1). Peut-être même cet azote n'est-il pas originaire, car la pierre de savon vient par caravanes, et des poils de chameau s'observent quelquefois à sa surface. On voit donc que le talc, l'écume de mer, la chlorite et en général les hydrosilicates de magnésie ne contiennent que très-peu de matières organiques.

C'est d'autant plus remarquable pour l'écume de mer qu'elle a, comme nous l'avons vu, une très-grande affinité pour ces matières (§ 6).

Pimélite, Yttrocérite. La pimélite et l'yttrocérite donnent une odeur empyreumatique lorsqu'elles sont chauffées dans le tube fermé (2).

Palagonite. La palagonite bréchiforme de l'Aiguille Saint-Michel, près le Puy, a une distillation alcaline; celle d'Espaly,

(1) Damour. *Annales de chimie et de physique*, 3e série, t. VII, p. 316.

(2) Berzelius. *Traité du chalumeau*, p. 215, 293.

prise sous une nappe de basalte, donne au contraire une distillation très-acide, et de même que le basalte par lequel elle est recouverte, elle dégage de l'acide nitrique. Dans ce gisement d'Espaly, il s'est visiblement formé un peu de nitre qui a imprégné la palagonite.

Une laumonite blanche en cristaux efileuris a pris dans le tube une couleur grisâtre ; en outre, elle a dégagé une matière brunâtre ayant l'odeur du sucre brûlé ; sa distillation était d'ailleurs fortement acide. Zéolithes.

La coupholite noircit et dégage l'odeur empyreumatique (1).

La stilbite blanche en beaux cristaux recouvrant le spath d'Islande donne une distillation acide et contient moins de ... 0,01 d'azote.

Avec le chrysocole ou hydrosilicate de cuivre, on a une odeur empyreumatique et une distillation fortement acide. Chrysocole.

L'allophane de Saxe et de Thuringe donne également une distillation acide. Pour une halloysite, j'ai constaté qu'elle était d'abord très-acide, puis franchement alcaline. Allophane, Halloysite.

Il est assez remarquable que la distillation de quelques zéolithes et des hydrosilicates soit acide ; cette particularité peut tenir à quelque circonstance accidentelle, et, par exemple, à la nitrification, comme pour la palagonite d'Espaly ; toutefois généralement la distillation acide d'un hydrosilicate doit surtout être attribuée à son mode de formation. Cette distillation acide se comprend d'ailleurs facilement pour les hydrosilicates de cuivre ; car ils se forment souvent dans les anciennes

(1) Berzelius. *Traité du chalumeau*, p. 321.

mines où ils sont déposés par des eaux que la décomposition des pyrites a rendues acides (1).

§ 51. *Sulfates.* Tous les sulfates qui ont été essayés ont donné à la distillation des matières organiques.

Baryte sulfatée. La baryte sulfatée décrépite fortement et sa distillation est très-légèrement alcaline. Pour la baryte sulfatée blanche et spathique du val Saint-Amarin, l'azote s'élevait à... 0,10.

Strontiane sulfatée. La strontiane sulfatée d'Iena, qui est d'un beau bleu, fibreuse, transparente, prend par la chaleur une couleur blanche, et sa distillation est alcaline. Comme sa couleur bleue disparaît par la chaleur, elle doit être attribuée à une matière organique.

Anhydrite. L'anhydrite blanc grisâtre, compacte, formant une couche dans les marnes irisées de Boissèt, près Salins, donne une distillation presque neutre; cependant l'odeur qui l'accompagne indique bien qu'elle renferme une légère trace de matières organiques. C'est du reste à ces matières que certaines variétés d'anhydrite doivent leur couleur bleue, grise ou noirâtre.

Gypse. Le gypse, même lorsqu'il est en cristaux parfaitement blancs et transparents, peut donner un dégagement très-sensible d'hydrogène sulfuré et déposer une petite couronne de soufre; le papier de tournesol prend alors une couleur rouge; quelquefois cependant il repasse au bleu ultérieurement. Le gypse contient d'ailleurs des matières organiques qui se révèlent très-bien par leur odeur; celui des environs de Paris, qui est stratifié, renferme jusqu'à... 0,26 d'azote. Il y a même des gypses qui renferment du bitume.

Alunite. L'alunite du Pic de Sancy, dans les monts Dore, dé-

(1) *Annales des mines*, 1846, t. IX : *Notice sur quelques produits de la décomposition des minerais de cuivre.*

crépite fortement, dégage une légère odeur empyreumatique et en même temps de l'hydrogène sulfuré, de l'acide sulfurique, ainsi que du soufre qui forme une couronne dans le tube. La distillation reste fortement acide.

Un peu de sulfate d'ammoniaque est distillé par l'alunite de la Tolfa; mais je n'en ai pas obtenu sensiblement avec l'alunite du Pic de Sancy, qui contient seulement... 0,08 d'azote.

Observons que la distillation, qui est neutre ou faiblement alcaline pour les sulfates anhydres, peut devenir acide pour les sulfates hydratés comme le gypse ou l'alunite.

Les carbonates, même lorsqu'ils sont cristallisés, contiennent aussi une petite quantité de matières organiques. § 52. *Carbonates.*

Il est facile d'en constater la présence dans la chaux carbonatée; ainsi la chaux carbonatée brune ou jaunâtre qui forme des stalactites décrépite dans le tube et devient blanchâtre; celle qui a une belle couleur bleue et qui est associée aux trapps, notamment à Voodburn en Irlande, se comporte de la même manière. La couleur de la chaux carbonatée qui provient de ces gisements doit donc être attribuée à des matières organiques. Chaux carbonatée.

M. David A. Wells a du reste annoncé que dans les stalactites et dans les stalagmites, il existe une matière organique qui est à l'état de crénate de chaux; en sorte que si l'on dissout le carbonate de chaux dans de l'acide chlorhydrique faible, cette matière apparaît en flocons qui sont facilement solubles dans un carbonate alcalin (1).

---

(1) *American Journal*, 3e série, t. XII, p. 11.

J'ai constaté que des flocons semblables s'observent, en effet, lorsqu'on dissout les stalactites qui se forment dans les anciennes carrières sous Paris et aussi dans quelques travertins de l'époque actuelle, notamment dans celui qui encroûte le têt des unios dans le lit de la Seine.

Le calcaire travertin de Saint-Nectaire, qui a été déposé par des sources incrustantes chargées d'acide carbonique, a donné ... 0,11 d'azote. Il y a également de l'azote dans la chaux carbonatée qui est en stalactites et qui résulte d'une infiltration; ainsi, j'en ai trouvé ... 0,16 dans celle de Montmartre qui est cristalline et fibreuse; ... 0,21 dans celle qui se forme en ce moment dans les anciennes carrières sous Paris. Enfin, le spath d'Islande lui-même contient... 0,15 d'azote, et la présence de matières organiques y est très-remarquable, puisqu'il est enclavé dans des roches volcaniques.

Observons de plus que l'azote de la chaux carbonatée cristallisée peut être égal et même supérieur à celui que contient le têt calcaire des mollusques fossiles (§ 29).

Dolomie. De même que le calcaire, la dolomie renferme des matières organiques; celle que j'ai examinée était brun jaunâtre, bien cristalline et en couches dans le muschelkalk d'Oberbronn; elle représentait le type le plus habituel de cette roche dans les terrains stratifiés, et son azote s'élevait à... 0,26; il y en avait donc autant que dans le gypse du bassin parisien.

Plomb carbonaté. Fer carbonaté. Smithsonite. Le plomb carbonaté prend quelquefois une couleur noirâtre par le mélange de matières charbonneuses.

Les carbonates qui se décomposent facilement par l'action de la chaleur, comme le plomb carbonaté, le

fer carbonaté, la smithsonite, donnent d'abord une distillation légèrement alcaline, qui est ensuite rendue acide par le dégagement d'acide carbonique. Mais lors même qu'ils se sont formés dans les gîtes métallifères, ils n'en contiennent pas moins une proportion très-notable de matières organiques; ainsi un fer spathique bien cristallisé de Gomor renfermait... 0,19 d'azote et il en avait... 0,17 dans une smithsonite concrétionnée de Corphalie.

Cette proportion d'azote est d'accord avec celle qui a été trouvée pour la chaux carbonatée, spathique ou concrétionnée, laquelle s'est formée dans les mêmes conditions.

On vient de voir que des matières organiques existent en très-petite quantité dans la plupart des minéraux avec lesquels elles sont intimement mélangées. Mais quelquefois les matières organiques deviennent très-abondantes dans certaines roches; alors elles constituent elles-mêmes des minéraux spéciaux le plus souvent amorphes, dont quelques-uns cependant sont cristallisés et parfaitement définis; telles sont la scheererite, la hartite, la mellite. Comme ces substances sont complétement décrites dans les ouvrages de minéralogie, il est inutile de nous en occuper ici. § 53. *Minéraux organiques.*

En ce qui concerne l'azote, il importe de remarquer qu'il fait généralement défaut dans les substances organiques que nous offre la nature; c'est surtout dans les combustibles fossiles qu'on le trouve comme élément constituant.

L'azote a d'abord été recherché dans le succin de l'argile plastique des environs de Paris, dans lequel il y en a seulement... 0,27. Il doit être attribué à un mélange qui est d'ailleurs facile à comprendre, puisque le succin n'est pas de l'acide succinique pur, qu'il renferme sou-

vent des insectes et que M. Ehrenberg y a même signalé des infusoires (1).

La mellite de Malovka a donné... 0,46 d'azote; mais ce résultat doit être en partie attribué à ce que ses cristaux ont empâté de petits fragments de houille, desquels il est impossible de les débarrasser.

Dans une ozokérite, l'azote s'est élevé à... 1,30 et il était de... 1,54 dans une élatérite; il y en a donc sensiblement plus que dans les minéraux inorganiques, qui sont cristallisés.

Le bitume natif de l'île de la Trinité qui est employé à la fabrication de l'asphalte est rejeté de l'intérieur de la terre, et l'on sait qu'il renferme environ 1/5 d'argile très-fine qui doit tendre à y augmenter l'azote (2). Dans le tube, sa distillation est d'abord très-acide, puis elle devient très-alcaline. Il dégage de l'hydrogène sulfuré, du sulfure de carbone, du naphte, du bitume, de l'ammoniaque. Il contient d'ailleurs... 2,56 d'azote; cette proportion est encore bien supérieure à celle obtenue pour aucun minéral cristallisé, à l'exception toutefois des sels ammoniacaux qui se rencontrent aussi dans la nature; d'un autre côté, elle est bien inférieure à celle trouvée dans la tourbe et en général dans les combustibles (§ 38).

Plusieurs minéraux organiques sont associés avec les roches éruptives ou anormales, et il est bien visible qu'ils proviennent de l'intérieur de la terre. Ainsi, le bitume se rencontre souvent dans le voisinage des régions volcaniques; il est quelquefois amené à la surface du sol par des éruptions; il est amené aussi

(1) Ehrenberg. *Mikrogeologie*, Pl. XXXII.

(2) Delesse. *Rapport sur les matériaux de construction de l'exposition universelle*, p. 392; 1855.

par des eaux minérales comme au Puy-de-la-Poix, en Auvergne. Il s'observe d'ailleurs à de grandes profondeurs dans les gîtes métallifères de la Scandinavie, dans plusieurs mines de cuivre du Cornouailles, à la mine Odin, dans le Derbyshire. L'élatérite ou bitume élastique, brun noirâtre, s'est également formé dans cette dernière mine, dans laquelle il accompagne le spath fluor, la baryte sulfatée, la chaux carbonatée.

Une résine jaune ou rouge foncé, très-voisine de la copaline, se trouve, d'après MM. Greg et Lettsom, sur les parois d'un dyke de trapp à la mine de plomb Settling stones, dans le Northumberland (1).

En outre, les eaux minérales, même lorsqu'elles sont chaudes et lorsqu'elles arrivent d'une grande profondeur, peuvent déposer des matières organiques qui ont été désignées sous les noms de glairine et de barégine.

Toutes ces matières organiques, aussi bien que le bitume et l'élatérite, ne sauraient être attribuées à des infiltrations de la surface, et elles proviennent incontestablement de l'intérieur de la terre; elles sont intimement associées à des minéraux cristallisés, notamment à ceux des roches métallifères et anormales; il est visible, en un mot, qu'elles se sont formées en même temps que ces minéraux : par conséquent, la présence de petites quantités de matières organiques dans les minéraux les mieux cristallisés s'explique d'une manière très-simple.

§ 54. *Résumé sur les minéraux.*

Si l'on passe en revue les principaux minéraux, on voit qu'ils contiennent très-fréquemment des matières organiques. Il est facile de le constater, même sur les minéraux cristallisés et transparents qui paraissent être

(1) Greg and Lettsom. *Manual of mineralogy*, p. 10, 14, 474.

complétement purs, tels que la chaux fluatée, le quartz hyalin, la topaze, le spath d'Islande.

Le plus souvent, il est vrai, ces minéraux renferment seulement des traces de matières organiques; mais ces matières se reconnaissent d'une manière indubitable par la distillation. Elles sont même assez abondantes pour qu'il soit possible d'en doser l'azote; toutefois, si l'on fait exception pour quelques minéraux organiques, leur azote ne s'élève pas au delà de quelques dix-millièmes.

La distillation est tantôt alcaline, tantôt acide, quelquefois l'un et l'autre alternativement. Elle est alcaline quand c'est l'ammoniaque qui domine; elle est acide quand ce sont les acides organiques et surtout inorganiques. C'est ce qui a lieu notamment dans les minéraux fluorés, dans les sulfates et dans les carbonates faciles à décomposer par la chaleur.

Les minéraux qui ont été essayés sont particulièrement ceux qui constituent les roches cristallines, ceux qui remplissent les amygdaloïdes, les filons, les gîtes métallifères.

Il peut paraître extraordinaire au premier abord que les minéraux s'étant formés à l'intérieur de la terre, contiennent des matières organiques; et cependant rien n'est plus facile à concevoir, puisque les eaux souterraines en renferment elles-mêmes et que les bitumes sont associés à des substances minérales très-variées.

ROCHES NON STRATIFIÉES.

Comme les roches éruptives ou non stratifiées sont généralement cristallines, la recherche de leurs matières organiques doit nécessairement donner des résultats très-voisins de ceux qui viennent d'être obtenus dans les minéraux. Il suffira donc de passer rapidement en revue les résultats qui les concernent, en mentionnant seulement les plus remarquables. ROCHES NON STRATIFIÉES.

Autant que possible, les essais ont d'ailleurs été faits sur des roches dont le gisement et la composition étaient bien connus et que j'ai recueillis en partie moi-même.

Les roches à base d'orthose, telles que le granite, le porphyre, la minette, renferment toutes des matières organiques, comme on le constate aisément par la distillation ainsi que par le dosage de l'azote. Il était facile d'ailleurs de la prévoir; car nous avons trouvé des matières organiques dans le quartz, dans l'orthose et dans le mica, c'est-à-dire dans les minéraux qui composent les roches granitiques. La présence des matières organiques dans ces roches est, du reste, très-importante à signaler, et elle vient confirmer les idées que j'ai émises précédemment sur leur origine (1). § 55. *Roches plutoniques.* Granite. Porphyre. Minette.

Tandis que l'azote est de... 0,15 pour le granite de la Vologne; il est de... 0,17 pour le porphyre quartzifère de Perseigne; de... 0,18 pour la minette de Wakenback. La proportion d'eau va successivement en augmentant dans ces trois roches, et l'on pourrait croire, qu'introduite par infiltration, c'est elle qui augmente la proportion d'azote.

---

(1) Recherches sur l'origine des roches. *Bulletin de la société géologique*, 2[e] série, t. XV, p. 728. 1858.

Arène granitique, kaolin.

Pour vérifier si cette hypothèse était exacte, j'ai recherché l'azote dans diverses roches décomposées. Dans un porphyre quartzifère de Saint-Franchy, qui était devenu argileux, l'azote n'était que de... 0,12 ; par conséquent, il n'y en a pas plus que dans d'autres porphyres quartzifères. En outre, dans le granite changé en arène et dans quelques kaolins, la distillation est peu alcaline, quelquefois même elle est acide. Le dosage d'azote m'a d'ailleurs donné... 0,04 pour une arène granitique de Saint-Franchy, et seulement... 0,03 pour une arène granitique rougeâtre d'Alençon, ainsi que pour le kaolin du granite de Maupertuis. Il est donc bien évident que lorsqu'un roche se décompose et se change en arène ou en kaolin, la proportion des matières organiques ne va pas en augmentant, mais, au contraire, en diminuant.

Ainsi, l'infiltration peut assurément introduire des matières organiques dans une roche, surtout près de la surface du sol; toutefois cela n'a pas lieu dans la décomposition.

Lorsque le porphyre quartzifère passe au trachyte, comme celui de Sandy Braes, près d'Antrim, qui se divise en colonnes prismatiques, sa proportion d'azote est beaucoup moindre, et j'ai constaté qu'il n'en a plus que des traces.

Diorite.

Quelques diorites, chauffées dans le tube d'essai, ne m'ont donné qu'une réaction alcaline très-faible ou à peine sensible : elles dégagent cependant une trace de matières organiques. Je citerai parmi les échantillons essayés des diorites d'Auvergne et des Vosges. Une diorite schistoïde, vert noirâtre et très-amphibolique, qui provenait des Vosges, contenait seulement... 0,03 d'azote.

Les diorites renferment une proportion d'azote qui

est très-faible et du même ordre que celle de l'amphibole hornblende, qui est un de leurs éléments minéralogiques.

Le porphyre vert bleuâtre, à base d'oligoclase, de Lessines, qui est employé à Paris pour le pavage, donne à la distillation une réaction alcaline très-faible et renferme très-peu de matières organiques.

Le mélaphyre vert noirâtre de Belfahy, à grands cristaux verdâtres de labrador, et avec augite, contient indubitablement des matières organiques. Leur présence est surtout impossible à méconnaître, lorsqu'on opère en grand et sur une centaine de grammes; car alors la roche dégage une huile empyreumatique qui est colorée en brun; toutefois, sa proportion d'azote est seulement de... 0,06. Dans le mélaphyre vert antique ou pierre des Crocées, l'azote n'est que de... 0,05. Les mélaphyres qui ont été essayés sont donc pauvres en azote. Mélaphyre.

La belle euphotide du mont Genèvre, à feldspath gras et à grands cristaux de diallage, renferme des matières organiques et... 0,10 d'azote. Euphotide.

La variolite de la Durance, qui est une variété d'euphotide globuleuse, paraît en contenir davantage, et j'y ai trouvé... 0,27 d'azote. Variolite.

La serpentine du Goujot, dans les Vosges, donne dans le tube une odeur empyreumatique et piquante, qui rappelle celle du tabac; elle contient... 0,11 d'azote. Serpentine.

Pour la serpentine du Goujot, la distillation est alcaline; mais pour celle de Petempré, renfermant du grenat rose et de la chlorite, la distillation, qui est d'abord alcaline, devient acide dès que l'eau se condense dans le tube; cela tient à un dégagement d'hydrogène sulfuré qui se reconnaît facilement à son odeur. On ne voit dans la serpentine de Petempré ni

pyrite ni gypse; cet hydrogène sulfuré est donc assez intéressant à signaler. Du reste, il s'observe aussi dans d'autres roches ou minéraux.

Bien que la serpentine et l'euphotide soient hydratées, il est bon de remarquer qu'elles n'ont pas plus d'azote que des roches presque anhydres comme le granite.

§ 89. Roches volcaniques. Contrairement à toute prévision, les roches volcaniques elles-mêmes renferment des matières organiques. La proportion en est généralement très-faible, mais elle est sensible et quelquefois même susceptible d'être dosée. Il sera facile de s'en convaincre par l'examen de quelques-unes de ces roches.

Trachyte. Le trachyte ne donne généralement que des traces extrêmement faibles de matières organiques; cependant sa distillation est légèrement alcaline, comme je l'ai constaté pour les trachytes, en filons ou en nappes, de Verniols, du plomb du Cantal, de la vallée des Enfers et de la Grande-Cascade, dans les monts Dore.

La lave trachytique de l'Arso, qui est grise avec cristaux de feldspath vitreux et d'augite, a fait éruption, en 1301, dans l'île d'Ischia, et son origine ignée n'est pas douteuse. Elle se comporte à la distillation comme les trachytes précédents, et il m'a paru intéressant d'y rechercher l'azote, mais je n'en ai trouvé que des traces.

Le domite ou trachyte pulvérulent du Puy-de-Dôme a donné au contraire une distillation franchement alcaline et... 0,15 d'azote. Comme il est très-perméable et très-divisé, il peut s'imbiber facilement; comme de plus il a été pris à $0^m,30$ de la surface du sol, la présence de cet azote doit tenir au voisinage de la terre végétale.

Phonolite. M. G. Bischof a signalé une matière organique dans

le trachyte hydraté ou phonolithe de Selberg, dans l'Eifel (1).

Le phonolite du Mégal m'a donné une distillation alcaline; il en est de même pour celui de la roche Sanadoire, qui est verdâtre, compacte bien caractérisé, et qui renferme seulement... 0,04 d'azote.

Les rétinites que j'ai examinés ont été choisis parmi les types principaux et les mieux caractérisés de cette roche bizarre. Chauffés dans le tube, ils donnent tous une odeur qui révèle déjà la présence de matières organiques; ces matières sont d'ailleurs accusées aussi par l'odeur de truffe que répandent certaines variétés quand on les frappe avec le marteau. Leur distillation est plus ou moins alcaline; elle ne s'est montrée acide que pour le rétinite vert des Chazes. Rétinite.

L'azote est seulement de... 0,06 dans ce rétinite des Chazes qui est en filons; il est de... 0,16 dans le rétinite brun rougeâtre de Korbitz, ainsi que dans le rétinite noir et à odeur de truffe de Glen Cloy; il s'élève à... 0,18 dans le rétinite noir et magnétipolaire de Grantola.

Je signalerai, comme un fait particulièrement remarquable, la présence de matières organiques et d'azote jusque dans l'obsidienne. Ces matières organiques se reconnaissent aisément quand on chauffe la roche dans le tube; toutefois, sa distillation est très-peu alcaline et ne colore que bien légèrement en bleu le papier rouge de tournesol. Obsidienne.

L'azote est de... 0,04 dans l'obsidienne noire avec globules gris de l'Oyamel; de... 0,11 dans l'obsidienne noire et légèrement bulleuse de Vulcano; de... 0,15 dans l'obsidienne d'un beau noir de l'Islande.

---

(1) *Lehrbuch*, t. II, p. 2185.

Il y a donc des matières organiques et de l'azote dans l'obsidienne, qu'elle soit compacte ou bulleuse ou globuleuse, c'est-à-dire dans toutes ses variétés. Ces matières lui donnent sa couleur noire ; mais elles doivent nécessairement se dégager dès la première application de la chaleur ; c'est ce qui explique pourquoi l'obsidienne devient alors blanche ou grisâtre, et pourquoi elle se change en ponce.

Quant à la ponce elle-même, elle contient du chlore comme l'obsidienne ; de plus, M. Abich a trouvé 0,66 d'hydrogène carboné dans la ponce de Pantellaria, et M. Bolley, du chlorhydrate d'ammoniaque dans presque toutes les ponces (1).

L'état vitreux du rétinite et de l'obsidienne ne permet pas de supposer que les matières organiques, qui sont si intimement répandues dans ces roches, et qui leur donnent en partie leur couleur, aient été introduites postérieurement par absorption ou par infiltration. Par conséquent, bien que ces roches soient regardées comme des verres volcaniques, elles se sont formées, non-seulement en présence de l'eau, mais même des matières organiques (2).

Lave. Du reste, les matières organiques se retrouvent souvent dans les laves les mieux caractérisées. J'ai essayé sous ce rapport des laves anciennes ou récentes, prises successivement à la partie inférieure, moyenne, supérieure des coulées et dans des climats très-différents ; la plupart ont donné l'odeur caractéristique des matières organiques ; leur distillation était assez alcaline pour colorer sensiblement en bleu le papier rouge de tournesol et quelquefois même pour lui donner un bleu

(1) Rammelsberg. *Handbuch der Mineralogie*, 1860, p. 634.
(2) *Bulletin de la société géologique*, 2ᵉ série, t. XV, p. 728.

vif. Je citerai spécialement la lave de Pariou, du Tartaret, de Gravenoire, de Lassolas, du Puy-de-la-Vache et même du Puy-de-la-Bannière, en Auvergne; la lave de Niedermenig, celle du Vésuve de 1832, une lave noire vitro-résineuse et feldspathique de l'Hécla, la lave rejetée en 1839 par le volcan de l'île de la Réunion, une lave scoraciée mise à ma disposition par M. de Saussure et provenant de l'éruption du Jorullo en 1700.

Pour la plupart de ces laves, notamment pour celles de Gravenoire et de la Bannière, l'azote se trouvait assurément en quantité trop petite pour être dosé; mais pour d'autres, il était au contraire possible de le déterminer. Ainsi, l'azote était de... 0,01 dans la lave celluleuse et employée pour meules de Niedermenig; il était de... 0,12 dans une lave très-scoriacée du Torre del Greco au Vésuve, qui, prise avec un fer pendant la fusion, portait le millésime de 1832; l'azote s'élevait même à... 0,14 pour la lave celluleuse et péridotique provenant de la coulée de 1839, à l'île de la Réunion.

Il est assurément difficile de se prononcer sur l'origine réelle de ces matières organiques, car elles sont en très-petite proportion.

Lorsque les laves étaient celluleuses, leur distillation paraissait généralement plus alcaline que lorsqu'elles étaient compactes; cela semblerait indiquer que leurs matières organiques doivent être attribuées à l'infiltration de l'eau et de l'atmosphère qui était alors plus facile.

D'un autre côté, si les matières organiques manquent dans les laves anhydres, elles sont au contraire très-appréciables dans les laves, comme celles de Bourbon, qui sont légèrement hydratées. En outre, les produits bitumineux accompagnent souvent les éruptions des

volcans brûlants; il n'est donc pas impossible que des matières organiques soient restées comme l'eau dans certaines laves. C'est d'ailleurs la conclusion à laquelle nous allons être conduits par l'examen du trapp et du basalte qui sont des roches volcaniques hydratées bien caractérisées.

Basalte. Tous les basaltes que j'ai essayés contenaient bien visiblement des matières organiques. Je mentionnerai particulièrement les basaltes de l'Auvergne, du Velay, de l'Islande. Il peut même arriver qu'ils donnent une odeur bitumineuse comme à Chanturges et aux environs de Clermont. Klaproth a d'ailleurs indiqué une matière organique bitumineuse dans quelques basaltes, notamment dans celui du Hasenberg, en Bohême. De plus, Knox et Bischof ont trouvé un gaz combustible dans le basalte (1).

La distillation du basalte est généralement alcaline, et souvent elle ramène vivement au bleu le papier de tournesol. Cependant elle est quelquefois acide, et des réactions inverses peuvent s'observer dans un même gisement. En effet, le basalte scoriacé et zéolithique qui forme la partie inférieure et la partie supérieure de la belle coulée d'Espaly donne une distillation acide, tandis que le basalte compacte et prismatique qui se trouve vers le centre de la coulée donne une distillation alcaline. Pour le basalte scoriacé inférieur, la distillation est toujours fortement acide; pour le basalte scoriacé supérieur, elle est acide au commencement, puis elle devient alcaline. L'acide qui se dégage dans la distillation du basalte scoriacé d'Espaly est donc particulièrement abondant à la partie inférieure de la coulée; j'ai constaté d'ailleurs que c'est de l'acide nitrique.

(1) *Lehrbuch*, t. II, p. 99.

D'autres basaltes, plus ou moins scoriacés, provenant du Collet, près du Puy et de la Roche-Rouge, n'ont pas donné une distillation acide.

Le nitrate qui s'observe dans ce basalte scoriacé d'Espaly résulte, sans doute, d'une nitrification qui s'est opérée comme celle que M. Boussaingault a signalée dans les terres végétales. A l'endroit où les échantillons ont été pris, il n'existe pas de traces d'anciennes habitations; mais le basalte renferme lui-même un peu de matière organique azotée, et la terre végétale qui se trouve dans son voisinage peut d'ailleurs lui en fournir. D'un autre côté, sa structure, qui est très-poreuse, devait tendre à favovoriser la nitrification. Si le nitrate est en proportion plus grande à la partie inférieure de la coulée d'Espaly qu'à la partie supérieure, il faut, peut être, l'attribuer à ce que, dans cette dernière, il se dissout plus facilement.

Du reste, les basaltes scoriacés, même lorsqu'ils sont très-poreux, ne contiennent pas nécessairement des nitrates.

L'azote peut aisément être dosé dans le basalte; il est seulement de... 0,07 dans le basalte scoriacé de la Roche-Rouge, tandis qu'il s'élève jusqu'à... 0,30 dans le basalte compacte, même lorsque ce dernier est prismatique et lorsqu'il contient de l'augite et du péridot.

Trapp.

Les matières organiques sont faciles à constater dans le trapp, dans lequel elles ont été signalées par Knox, Braconnot et par M. Levallois (1). Quelquefois elles sont tellement abondantes qu'elles remplissent les cellules et les fissures de la roche.

Je citerai comme exemple certaines nappes de trapp

(1) Observations sur la roche ignée d'Essey-la-Côte. *Mémoire de la société royale des sciences de Nancy*, 1848.

de la Chaussée-des-Géants, particulièrement celles qui se trouvent vers la partie supérieure; une matière organique charbonneuse y forme des amygdaloïdes ayant plus d'un centimètre de longueur; cette matière a une couleur noirâtre; elle devient bleuâtre par l'exposition à l'air, et sa distillation est franchement acide. Le trapp de Ballygrogan renferme aussi dans ses cellules une matière organique jaunâtre, ayant la consistance du savon, qui est associée à du quartz et à de la goethite (1).

A la mine Settling Stones, dans le Northumberland, une résine, accompagnée de chaux carbonaté, se trouve sur les parois d'un dyke de trapp. Cette résine a une couleur jaune ou rouge; elle fond à la flamme d'une bougie, et sa composition, qui est voisine de celle de la copaline, est à peu près C^2H^3.

Le trapp renferme donc des matières organiques qui, tantôt sont des hydrogènes carbonés ayant une composition définie et tantôt contiennent un peu d'azote.

Pour un trapp de Beraun, qui m'a été remis par M. J. Barrande et qui est contemporain du terrain silurien, dans lequel il forme des nappes, l'azote est seulement de... 0,03. Pour les autres trapps essayés, il est resté inférieur à... 0,20.

Deux trapps décomposés, l'un en filons provenant de Portrush, l'autre en nappe de la Chaussée-des-Géants, renfermaient... 0,15 d'azote. Bien que le dernier soit à l'état d'argile rouge ocreuse (*ocre bed*), il ne renferme pas plus d'azote que le trapp non décomposé.

J'ai constaté de plus que le trapp jaune brunâtre et décomposé de Bolam ne donne que des traces d'azote

---

(1) Greg and Lettsom. *Manual of mineralogy*, p. 474, § 10.

lorsqu'il est soumis au procédé de dosage, tandis qu'il en contient... 0,11 quand il est à l'état normal.

Les recherches faites sur le trapp nous montrent donc encore que la décomposition n'augmente pas nécessairement l'azote et les matières organiques.

On voit aussi que les roches éruptives hydratées, même lorsqu'elles sont volcaniques, comme le basalte et le trapp, peuvent renfermer une proportion relativement assez grande d'azote et de matières organiques. Du reste, ces matières se dégagent également des volcans en activité et de l'intérieur de la terre.

Enfin, les météorites elles-mêmes contiennent des matières organiques. M. Wöhler a constaté, en effet, qu'indépendamment du carbone libre, il existe dans la météorite de Kaba une matière organique semblable aux hydrogènes carbonés fossiles qu'on désigne sous le nom de cire de montagne (ozokérite, scheererite, paraffine) (1). Cette matière est facilement fusible; elle se dissout dans l'alcool; dans le tube, elle se volatilise en partie, donne du charbon et une odeur semblable à celle de la graisse. § 57. *Météorite.*

On peut remarquer d'ailleurs que les météorites sont souvent accompagnées de carbone qui paraît provenir de la décomposition de matières organiques.

Il y en a beaucoup, notamment dans les fers météoriques de Caille, de Saros, de Sibérie et dans les météorites de Ferrare, du 15 janvier 1824, et de Saint-Étienne de Lolm, près Alais, du 15 mars 1806.

J'ai constaté que cette dernière qui est noire, pulvérulente, donne dans le tube une distillation très-acide

(1) *Sitzungsbericht der Kaiserlichen Academie der Wissenschaften*, t. XXXIV, p. 7. Vien, 1859.

et un dépôt de soufre, mais elle dégage aussi de l'eau, de l'ammoniaque et une matière organique.

Pour le fer météorique de Caille, la distillation est au contraire alcaline, et rien qu'à l'odeur, il est facile d'y reconnaître l'existence d'une matière organique.

La météorite tombée le 9 décembre 1858, à Ausson près de Toulouse, donne dans le tube une odeur empyreumatique piquante et très-sensible; sa distillation est d'abord alcaline; mais ensuite elle devient acide, à cause du dégagement d'acide sulfureux provenant de son sulfure de fer (1).

La météorite tombée le 13 octobre 1838, près de Julbagh, au cap de Bonne-Espérance, a été examinée par Faraday, Wöhler et Harris. Elle renferme, indépendamment du carbone, 2,50 p. 1.000 d'une substance bitumineuse; à la distillation, elle donne de l'eau, ainsi qu'un léger dépôt de sulfate d'ammoniaque (2).

Enfin une météorite gris noirâtre, silicatée, avec fer métallique et pyrite de fer, m'a donné une distillation alcaline et une odeur empyreumatique bien prononcée, semblable à celle du tabac. En la soumettant au procédé pour le dosage de l'azote, j'ai constaté qu'elle en renferme seulement... 0,05.

Ces différents essais montrent bien que les météorites peuvent contenir des matières organiques et même de l'azote.

Toutefois, les météorites ont traversé l'atmosphère; elles sont très-sujettes à se couvrir de rouille dans leurs parties métalliques et il est même rare qu'elles soient encore à l'état primitif; une partie de leur azote peut

---

(1) Voir relativement à cet aérolithe : Leymerie. *Actes de la société Linnéenne de Bordeaux*, t. XXIII, 1860.

(2) Rammelsberg. *Handbuch der Mineralogie*, p. 942. 1860. *L'Institut*, 18 mai 1859, n° 1324, p. 163.

donc provenir de l'atmosphère et surtout de l'ammoniaque qui s'est formée dans la rouille.

Les roches éruptives, qu'elles soient plutoniques ou volcaniques, contiennent généralement des matières organiques et de l'azote; mais leur proportion d'azote est très-faible, et le plus souvent en rapport avec celle trouvée dans les minéraux qui les composent. Il est facile de constater l'existence de l'azote dans le granite, le porphyre, le mélaphyre, l'euphotide, la serpentine; sa proportion reste inférieure à 0,3 dans les roches plutoniques.

§ 58. *Résumé sur les roches non stratifiées.*

L'azote disparaît complétement ou du moins est toujours en proportion extrêmement petite dans les roches volcaniques anhydres, telles que le trachyte, la dolérite et certaines laves. Cependant il y en a sensiblement dans les roches volcaniques hydratées, telles que le phonolite, le rétinite, l'obsidienne; il y en a surtout dans le basalte et dans le trapp. Dans les roches volcaniques, la proportion d'azote reste toutefois inférieure à $\frac{1}{2}$ millième.

Les diorites ainsi que les roches dans lesquelles il s'est développé de l'amphibole paraissent être particulièrement pauvres en azote.

L'arène, le kaolin et en général les argiles résultant de la décomposition du granite, du porphyre, du trapp et des autres roches éruptives, contiennent moins d'azote que les mêmes roches à l'état normal.

Enfin l'azote des roches éruptives est en proportion trop petite pour qu'il soit possible de constater quelque diminution tenant à l'ancienneté des roches; il paraît même à peu près indépendant de leur âge. Il est, au contraire, en relation intime avec les caractères minéralogiques de chaque roche, et par suite avec les conditions dans lesquelles elle a pris naissance.

ROCHES STRATIFIÉES.

ROCHES STRATIFIÉES. Les roches qui nous restent à examiner ont été déposées par l'eau ou par l'atmosphère; elles se sont formées en présence des animaux et des végétaux qui ont peuplé le globe aux différentes époques géologiques. Il n'est donc pas étonnant qu'on y trouve plus d'azote et de matières organiques que dans les autres roches.

Maintenant, quand on compare entre elles les roches stratifiées qui ont la même composition minéralogique et qui se sont formées dans les mêmes conditions, on observe que celles de l'époque actuelle sont généralement plus riches en azote que celles des époques géologiques antérieures. En outre, comme elles constituent le sol végétal, elles ont une importance toute spéciale pour l'agriculture. D'après cela, les roches stratifiées de l'époque actuelle ont été groupées à part et réunies dans un appendice.

§ 59. *Roches calcaires.* Examinons d'abord les roches calcaires, c'est-à-dire celles qui sont formées de chaux phosphatée, de chaux sulfatée, de chaux ou de magnésie carbonatée. Elles peuvent contenir des proportions d'azote faciles à doser, surtout lorsqu'elles sont poreuses et en parcelles microscopiques ou bien lorsqu'elles sont argileuses.

§ 60. Chaux phosphatée. La chaux phosphatée se trouve en nodules grisâtres de quelques centimètres dans le gault de Folkestone. Chauffée dans le tube, cette chaux phosphatée noircit, décrépite et donne un petit dépôt de soufre; elle contient... 0,18 d'azote.

La quantité d'azote qui s'y trouve est plus petite que celle des coprolites provenant de terrains même plus anciens; c'est donc à tort qu'on la considère comme coprolite; elle n'en a d'ailleurs pas la forme, et nous

allons voir que des matières organiques se retrouvent dans toutes les roches stratifiées (1).

L'anhydrite compacte des marnes irisées de Boisset renferme seulement... 0,01 d'azote. Les minéraux non hydratés ont généralement très-peu d'azote, et du reste les conditions particulières dans lesquelles l'anhydrite s'est formée peuvent aussi en être la cause. § 61. Anhydrite.

Dans le gypse, surtout lorsqu'il est stratifié, la proportion d'azote est très-notable; ainsi, dans le gypse grenu, blanc jaunâtre et fossilifère des environs de Paris, j'en ai trouvé jusqu'à... 0,26. § 62. Gypse.

Le calcaire contient des matières organiques qui se reconnaissent par la distillation et par la couleur brunâtre ou grisâtre qu'il prend lorsqu'on le chauffe dans le tube. Sa distillation est généralement alcaline. Cependant elle peut être acide au commencement et alcaline à la fin; je l'ai constaté, par exemple, pour la craie marneuse prise au sondage de l'avenue de Saint-Cloud à une profondeur de 460 mètres; c'est également ce qui a lieu pour certains calcaires charbonneux ou bitumineux. La dolomie contient, d'ailleurs, des matières organiques aussi bien que le calcaire, et ces deux roches se comportent de la même manière à la distillation. § 63. Calcaire.

Considérons d'abord le calcaire métamorphique. Quelques marbres blancs, saccharoïdes, ont été examinés, particulièrement celui d'Eisersdorff en Basse-Silésie; ils ont bien donné des traces de matières organiques, mais leur distillation était à peine alcaline, et il s'y trouvait trop peu d'azote pour en faire le dosage. § 64. Calcaire métamorphique.

Le calcaire métamorphique, désigné sous le nom de predazzite, est formé de chaux carbonatée saccharoïde

(1) Relativement à l'emploi de la chaux phosphatée dans l'agriculture, consulter Élie de Beaumont et P. P. Dehérain. *Recherches sur l'emploi agricole des phosphates*, 1860.

imprégnée de brucite; il se trouve au contact de l'hypérite, et il est exploité comme marbre blanc au torrent des Canzacoli dans le Tyrol. A la distillation, il colore très-légèrement en bleu le papier de tournesol et il renferme seulement des traces d'azote.

Lorsque le calcaire métamorphique a conservé une couleur grise ou noirâtre, il contient une proportion de matières organiques un peu plus grande. J'ai essayé notamment un calcaire métamorphique du Petit-Saint-Bernard; il était cristallin, mais gris bleuâtre veiné de noir, et il se rapportait à la variété de marbre connue sous le nom de *bleu turquin*. Il renfermait des matières charbonneuses, et par le choc il donnait même une odeur très-fétide. Sa distillation était légèrement alcaline, et l'essai a montré qu'il renfermait seulement... 0,008 d'azote, soit moins de 1 cent-millième.

Un calcaire glauconieux, devenu grisâtre et cristallin au contact d'un filon de basalte, n'a donné que... 0,02 d'azote (1).

Tous ces essais sont donc bien concordants : le calcaire métamorphique contient à peine de l'azote et des matières organiques; il n'en contient même que des traces indosables quand il a été métamorphosé en marbre blanc. On verra du reste que les autres roches stratifiées métamorphiques donnent des résultats analogues.

§ 65. Calcaire normal.

Si nous passons au calcaire normal, nous y trouvons généralement plus d'azote que dans le calcaire métamorphique et aussi que dans la chaux carbonatée spathique.

Le muschelkalk brunâtre, bien compacte de Darnieulles, donne une distillation très-faiblement alcaline et des traces d'azote. Le calcaire lithographique de Solenhofen qui est cependant fossilifère n'a que... 0,05 d'azote; l'oolite jurassique et semi-cristalline d'Hirson en

(1) *Annales des mines*, 1857, t. XII, p. 218.

a... 0,09. Le calcaire grossier à cérites en a seulement... 0,15, par conséquent pas plus que le spath d'Islande. Dès que le calcaire devient crayeux, il est notablement plus riche en azote que lorsqu'il est compacte; c'est ce que j'ai constaté pour la craie et pour le calcaire blanc crayeux des marnes supérieures au calcaire grossier. Dans la craie naturelle de Meudon, contenant environ un cinquième de sable et réputée de bonne qualité pour la fabrication du blanc, l'azote s'élève même à... 0,25.

La craie est en grande partie composée de débris de foraminifères; d'après M. Bailey, elle présenterait même des parties consistant en une matière organique brun foncé qui a conservé la forme de ces animaux (1); il n'est donc pas étonnant qu'on y trouve autant d'azote.

Le calcaire de Seyssel-Volant qui est imprégné de 8 p. 100 de bitume, et qui sert à la fabrication de l'asphalte, contient seulement 0,28 d'azote. Il est remarquable que ce calcaire bitumineux ne renferme guère plus d'azote que la craie. Un calcaire fétide, brun noirâtre et non bitumineux, du terrain houiller de Wunschendorff, a donné... 0,32 d'azote. Enfin, dans un conglomérat moderne, formé de coquilles marines, et provenant du Brésil, il y avait jusqu'à... 0,90 d'azote; mais cette richesse en azote est exceptionnelle; elle s'explique très-facilement, car c'est dans ce conglomérat que se trouvent des ossements humains (*Tableau* I, n° 15).

Quand le calcaire n'est pas recouvert par de la terre végétale, il est peu fertile, lors même qu'il serait relativement riche en azote. La craie, dans la Champagne Pouilleuse, nous en offre un exemple. Cependant la craie et le calcaire très-divisé sont avantageusement employés au marnage des terres argilo-sableuses.

---

(1) Naumann. *Lehrbuch der Geognosie*, 2e édit., t. I, p. 784.

Bien que le calcaire ait de l'affinité pour les matières organiques, et particulièrement pour le bitume, les essais montrent que généralement il renferme peu d'azote. Quelquefois même le calcaire sédimentaire et non métamorphosé n'en renferme que des traces; c'est surtout ce qui paraît avoir lieu lorsqu'il est formé de carbonate de chaux exempt d'argile.

§ 66. Marne. Mais lorsqu'au contraire le calcaire est mélangé d'argile et passe à la marne, l'azote et les matières organiques augmentent généralement en proportion notable.

Une marne rouge, sableuse, micacée et ferrugineuse, m'a donné seulement... 0,04 d'azote; c'est cependant dans cette marne que se trouvent des ossements si nombreux à Pikermi.

Dans toutes les autres marnes essayées, l'azote était au contraire supérieur à... 0,1; dans la marne de Libstadt, qui est employée comme *terre à foulon*, il est de... 0,35; dans la marne verte, supérieure au gypse parisien, il atteint... 0,46; il est de... 0,59 pour la marne argilo-sableuse de Laran, qui est très-recherchée pour l'agriculture. D'après M. Payen, l'azote peut même s'élever à 1,50 dans cette dernière marne (1). Le lœss, des environs de Paris, est lui-même une marne très-argileuse dans laquelle il y a environ 10 p. 100 d'acide carbonique, de l'argile et un peu de sable; j'ai trouvé... 1,02 d'azote dans un échantillon du loess de Meudon, pris à $1^m,50$ du sol, et dans un autre il y en avait même davantage. La grande richesse du loess en azote ne doit pas surprendre, car c'est après la terre végétale le dépôt le plus moderne; il renferme en outre un grand nombre de débris organisés, notamment de végétaux et de mollusques terrestres qui ont conservé leurs

(1) De Gasparin. *Cours d'agriculture.*

formes et même leurs couleurs. Enfin il est très-argileux, et l'argile, bien qu'elle n'absorbe pas toujours une grande proportion de matières organiques, jouit à un degré remarquable de la propriété de les fixer.

La marne contribue donc à l'amendement, non-seulement parce qu'elle donne du calcaire à des terres qui en sont privées, mais en outre parce qu'elle y introduit des matières organiques azotées (1). Toutes choses égales, elle en contient d'autant plus qu'elle est plus divisée et plus argileuse.

§ 67. *Roches siliceuses.*

Les roches stratifiées siliceuses sont surtout les sables, les grès, les quartzites. Quand elles sont formées de quartz hyalin et exemptes d'argile, elles sont généralement très-pauvres en matières organiques, comme il est facile de le constater par un simple essai dans le tube. Je citerai particulièrement le sable blanc de Rilly, qui est formé de quartz hyalin, et recherché pour la verrerie; un grès avec argilite et empreintes d'asteries du lias supérieur des environs de Salins; le quartzite de Houth, qui appartient au terrain silurien métamorphique de l'Islande.

§ 68. Roches siliceuses métamorphiques. Quartzite.

Parmi les roches siliceuses, celles qui sont métamorphiques, comme le quartzite, contiennent généralement une proportion d'azote tellement petite qu'elle n'est pas dosable.

Cependant, dans le quartzite bien caractérisé, celui d'Itacolumi, j'ai trouvé... 0,06 d'azote. Ce quartzite d'Itacolumi, ou *itacolumite*, était presque entièrement formé par un quartz hyalin, légèrement enfumé comme dans le granite, flexible, à grains très-gros, avec rutile et quelques lamelles de mica verdâtre; c'est un grès métamorphique, et l'une des roches dans lesquelles le

(1) Malagutti. *Leçons de chimie agricole*, 1855, p. 441.

diamant a cristallisé (1). Bien que la quantité d'azote obtenue soit très-faible, elle est facilement appréciable; elle est d'ailleurs supérieure à celle de l'itabirite du schiste chlorité, c'est-à-dire des roches associées au diamant; elle est d'ailleurs intéressante à signaler, car elle montre que le diamant s'est formé en présence de matières organiques et elle jette quelque jour sur son origine.

Grès prismatique. Comme le basalte contient quelquefois une proportion notable d'azote, il était intéressant de rechercher s'il y en avait dans le grès métamorphosé à son contact. Or l'expérience a montré que le grès bigarré en contact avec le basalte de Wildenstein et changé en grès blanc, lustré, prismatique, renferme seulement... 0,07 d'azote.

§ 69. Sable, Gravier, Grès. Dans le gravier ou dans le sable à gros grains, même lorsqu'il est récent et diluvien, l'azote est aussi en quantité très-petite; cependant on peut encore le doser. Par exemple, il y a... 0,02 d'azote dans le gravier diluvien, essentiellement formé de quartz hyalin et complétement exempt d'argile, qui a été déposé par la Seine. Le sable quartzeux des dunes, à l'embouchure de la Charente, ne contient que... 0,03 d'azote, et l'on comprend d'après cela pourquoi les végétaux se développent si difficilement sur les dunes. Le grès de Fontainebleau, qui est lustré et à ciment siliceux, contient 0,13 d'azote.

Le sable du même étage, qui est exploité à Fontenay-aux-Roses, a donné... 0,16 d'azote. Ce sable, très-recherché pour les fonderies, jouit d'une plasticité remarquable, qu'il doit à un mélange de 40 p. 100 de sable très-fin et d'argile; par conséquent, il n'est pas étonnant qu'il soit plus riche en azote que le sable ordinaire.

On voit en définitive que les sables, les graviers et les grès peuvent contenir sensiblement moins d'azote

(1) *Annales des mines*, 1860, 1re livraison. Sur le gisement et l'exploitation du diamant, par MM. Heuser et Claraz.

que le quartz hyalin des roches granitiques aux dépens duquel ils sont formés. L'infiltration qui s'opère si facilement dans les sables et dans les grès, tend donc plutôt à diminuer qu'à augmenter la proportion d'azote.

Lorsque les roches siliceuses sont formées de quartz mélangé avec d'autres substances, et notamment avec de l'argile, leur proportion d'azote augmente. § 70. Grès calcaire ou argileux; Mollasse, Psammite.

Ainsi, elle est de... 0,12 dans le grès calcaire charbonneux, et avec cinabre d'Idria; de... 0,27 dans la mollasse, ou grès calcaire et glauconieux du miocène des environs de Berne; de... 0,29 dans le grès noirâtre, micacé, avec pleurodyctium problematicum du terrain devonien des environs d'Alençon; elle s'élève à... 0,35 dans les sables argileux de Beauchamp, pris dans Paris près de l'École Normale; enfin elle est de... 0,51 dans le grès devonien schisteux et micacé, nommé par M. d'Omalius d'Halloy, psammite du Condros.

Parmi les roches siliceuses stratifiées, le tripoli, qui est au quartz ce que la craie est à la chaux carbonatée, mérite une mention toute spéciale. Le tripoli (*kieselguhr*) de Lunebourg est blanc pulvérulent; quand on le chauffe dans le tube, sa couleur devient grisâtre. Il donne une distillation d'abord acide, et ensuite à peu près neutre. Il contient visiblement beaucoup de matières organiques. Le tripoli de Bilin, qui est schisteux, prend dans le tube une couleur gris noirâtre; il donne au premier moment une distillation acide et une odeur empyreumatique prononcée, puis la distillation devient légèrement alcaline. Il contient... 0,48 d'azote. Le tripoli du Habichtswald a été analysé par M. Löwig, qui y signale 1,70 p. 100 de matières organiques. § 71. Tripoli.

On sait, par les recherches d'Ehrenberg, que le tripoli est entièrement formé de carapaces d'infusoires dont les formes sont même très-bien conservées; d'un

autre côté, les substances poreuses et très-divisées jouissent d'une grande puissance d'absorption ; par conséquent, on s'explique aisément pourquoi le tripoli est riche en azote et en matières organiques.

§ 72. *Roches argileuses.* Parmi les roches stratifiées, les roches argileuses sont particulièrement intéressantes à étudier, car elles contiennent généralement une proportion très-notable de matières organiques ; aussi est-il nécessaire d'examiner successivement leurs principales variétés.

Commençons par diverses roches qu'il convient d'intercaler ici, bien que leur état argileux soit très-imparfait.

§ 73. **Tuf.** Le tuf poreux et friable qui a recouvert Herculanum, et qui paraît avoir été formé par un torrent boueux, donne une distillation qui est d'abord acide, puis alcaline ; il renferme... 0,12 d'azote. Une distillation très-acide s'observe aussi dans le conglomérat trachytique et poreux de Loitte, dans les monts Dore.

Trass. Le trass des bords du Rhin est nettement stratifié, et plusieurs géologues lui attribuent la même origine qu'au tuf d'Herculanum. Sa distillation est alcaline, et il contient... 0,16 d'azote.

§ 74. **Schlamm.** Le schlamm des volcans boueux de Turbaco contient, d'après M. Boussingault, des traces très-sensibles d'ammoniaque, de l'azote, des matières bitumineuses, du borax et de l'iode (1).

Il est naturel de rapprocher de ces roches une argile éruptive observée au Brésil par M. Claussen, et qui, formant des espèces de filons, s'est répandue en nappes à la surface du sol. Cette argile qui est ferrifère, bréchiforme, empâte des fragments d'une autre argile et d'un micaschiste qu'elle a traversé ; elle renferme seulement... 0,13 d'azote. Mais dans une argile noir bru-

(1) *Comptes rendus*, t. XXXVIII, p. 765. — De Humboldt, *Cosmos*, t. IV, p. 299.

nâtre, venue également de l'intérieur de la terre et remplissant des cavités dans le muschelkalk métamorphique de Xerbeviller (Meurthe), il y avait... 0,66 d'azote. De même, dans une argile grise, marneuse, rejetée par les volcans boueux de Macaluba en Sicile, l'azote s'élevait à... 0,71; et, comme on le verra plus loin, il est rare que les argiles sédimentaires en contiennent une plus grande proportion.

M. Ehrenberg a observé des infusoires dans le trass, la moya, les déjections des volcans de boue, les tufs volcaniques (1); la présence de matières organiques azotées dans ces roches, qui sont d'ailleurs argileuses et absorbantes, peut dès lors s'expliquer facilement.

§ 75. Roches argileuses métamorphiques. Porcelanite.

Lorsque des roches argileuses ont été agglutinées ou fondues à l'intérieur de la terre, on conçoit qu'elles aient perdu leurs matières organiques; mais elles peuvent encore donner une distillation acide qui est due notamment à de l'acide sulfurique; c'est au moins ce que j'ai constaté pour une porcelanite gris bleuâtre, provenant d'un incendie souterrain à la mine de lignite du mont Meissner. D'ailleurs l'action de la chaleur sur les couches généralement pyriteuses qui sont métamorphosées en porcelanite, doit naturellement les imprégner d'acide sulfurique.

Argile silicifiée.

Les roches argileuses métamorphiques sont relativement pauvres en azote. En effet, il n'y en avait que... 0,05 dans l'argile du lias des Pannats, qui a pris la dureté du silex, et qui a été complétement silicifiée au contact du granite.

Jaspe.

Un schiste du lias de Ballywillin, changé en jaspe noir et esquilleux au voisinage du trapp, avait... 0,20 d'azote.

Lorsqu'une argile est silicifiée ou changée en jaspe, les

(1) *Berliner Acad.*, 1857, p. 227, 233 et *Mikrogeologie*.

autre côté, les substances poreuses et
jouissent d'une grande puissance d'absor
séquent, on s'explique aisément pourq
riche en azote et en matières organiq

§ 72. **Roches argileuses.** Parmi les roches stratifiées, le ... schistes
sont particulièrement intéressan ... mises au
contiennent généralement une ... n schiste
de matières organiques; aus ... diamant i-
miner successivement leurs ... séricite asso-

Commençons par diver ... 0,02 d'azote.
tercaler ici, bien que leur ... e du terrain silu-

§ 73. **Tuf.** Le tuf poreux et fri ... ment composé de mica
et qui paraît avoir ... e; il y en a encore... 0,2
donne une distilla ... s bleuâtre de la Bretagne, et
line; il renferme ... oise gris noirâtre d'Angers. Ces
acide s'observ ... en outre un peu de matières bitu-
et poreux de ... reconnaissent très-bien à leur odeur

Trass. Le trass ... on même du dosage de l'azote.
et plusie ... remarquer cependant que le schiste talqueux,
qu'au t ... iste chlorité, le micaschiste, le gneiss, renferment
il con ... des quantités sensibles d'azote. Quelle que soit

§ 74. **Schlamm.** l'origine de ces roches, elles proviennent du métamorphisme de roches stratifiées, et par conséquent les matières organiques qu'elles renfermaient ont été partiellement ou complétement détruites, lorsque ce métamorphisme a été très-énergique. La comparaison des roches argileuses métamorphiques avec les roches normales montre donc bien que le métamorphisme diminue les matières organiques. C'est, du reste, bien d'accord avec ce que j'ai constaté précédemment pour les roches calcaires et siliceuses. Les matières organiques ne sont augmentées que dans certains cas exceptionnels de métamorphisme, par exemple, lorsque la roche est imprégnée de bitume.

Considérons maintenant les roches argileuses normales.

Parmi les argiles, je mentionnerai d'abord une argile magnésienne, feuilletée et happante; c'est celle qui est connue sous le nom de *klebschiefer*, et qui se trouve surtout dans le terrain de gypse parisien; elle n'a donné que... 0,08 d'azote. Comme l'écume de mer, dont elle n'est qu'une variété impure, elle contient donc très-peu de matières organiques; il est même rare qu'une argile stratifiée en renferme aussi peu, et c'est d'autant plus remarquable qu'elle en est très-avide. § 77. Argile magnésienne.

Il semblerait que la teneur en azote des argiles qui enveloppent les ossements devra toujours être élevée. Cependant une argile jaune verdâtre des cavernes à ossements du Brésil, n'avait que... 0,16 d'azote; l'argile rouge, limoneuse, qui entourre les ossements dans les cavernes du calcaire jurassique de Franche Comté, en avait... 0,39. D'un autre côté, l'argile diluvienne de Buénos-Ayres, dans laquelle se trouvent des squelettes entiers de mégathérium, et qu'on pourrait croire d'après cela très-fortement imprégnées de matières organiques, ne renferme pas plus de... 0,31 d'azote. Ainsi, lors même que les argiles sont ossifères et d'origine récente, elles ne sont pas toujours riches en azote; il est même possible, comme on va le voir, qu'elles soient plus pauvres que des argiles privées de fossiles et appartenant à des terrains plus anciens. On comprend du reste que si les ossements ont été enfouis après la décomposition des cadavres auxquels ils appartenaient, la roche qui les enveloppe ne doit pas nécessairement être riche en matières organiques. § 78. Argile.

L'argile brun rougeâtre, qui recouvre le terrain diluvien de Saint-Acheul, contient... 0,18 d'azote; l'argile jaune, calcaire, sablonneuse et micacée de Rixheim,

près du Rhin, en renferme... 0,19. Il n'y en a pas moins de... 0,53 dans l'argile grise, dans laquelle se trouvent les meulières supérieures de Meudon ; l'échantillon a cependant été pris à une profondeur de 4 mètres au-dessous du sol, afin d'éviter autant que possible les infiltrations provenant de la terre végétale.

L'argile oxfordienne de Hedington a donné aussi... 0,54 d'azote. Une argile plastique gris noirâtre d'Amblainvilliers, retirée avec la sonde d'une profondeur de 100 mètres, a donné... 0,61 d'azote ; et cependant, d'après son gisement, les matières organiques ne provenaient pas de l'atmosphère, elles étaient au contraire originaires. Il est donc bien visible que dans l'argile proprement dite, la proportion d'azote est très-notable puisqu'elle peut dépasser un demi-millième.

§ 79. Argilite, Schiste. L'argilite et le schiste, qui sont des roches plus ou moins argileuses, diffèrent de l'argile en ce qu'elles ne deviennent pas plastiques ; elles sont au contraire lithoïdes et elles contiennent des alcalis.

Lorsque ces roches n'ont pas été soumises au métamorphisme, elles renferment relativement beaucoup d'azote et de matières organiques. Elles donnent même assez souvent dans le tube un dépôt de bitume ; dans ce dernier cas, la distillation commence quelquefois par être très-acide ; mais elle finit par devenir fortement alcaline.

Les variétés de ces roches que j'ai examinées sont les suivantes : l'argilite gris rougeâtre du grès bigarré de Sultz qui contient seulement... 0,14 d'azote ; le schiste silurien noir et fossilifère de Mortain... 0,34 ; le schiste houiller de Ronchamp... 0,59 ; le schiste permien et bitumineux de Riechelsdorf... 0,82 ; le schiste du Rio-Turbarao qui, d'après M. Claussen, serait l'équivalent des roches métamorphiques dans lesquelles se trouvent les diamants... 1,19 ; le schiste silurien de Hellekis, qui

offre de nombreux débris de trilobites et qui est également bitumineux..., 1,44; le schiste liasique de Boll, qui est brun noirâtre et contient des débris de sauriens..., 1,80; enfin le schiste liasique de Reutlingen qui est assez bitumineux, pour qu'on en fabrique une huile employée à l'éclairage... 2,83. Le schiste bitumineux d'Autun qui sert au même usage est également riche en azote; car il donne à la distillation une eau très-ammoniacale.

Par conséquent, l'azote n'est pas moins abondant dans le schiste que dans l'argile, et il peut même atteindre quelques millièmes dans le schiste bitumineux. Du reste, il n'y a pas lieu de s'en étonner, car l'argile et le schiste ne sont autre chose que de la vase argileuse à l'état fossile.

Les couches ossifères nommées *bone-bed* par les géologues anglais sont en grande partie formées de débris de poissons et généralement mélangées à une argile. Il était intéressant d'y rechercher l'azote; or un schiste marneux avec nombreuses écailles de girolepis du muschelkalk de Chauffontaine a donné seulement... 0,31 d'azote, et dans le *bone-bed* du Keuper d'Oberbronn, il n'y en avait que... 0,84. Contrairement à ce que l'on serait tenté de croire, le *bone-bed* doit donc essentiellement son azote à l'argile qui cimente ses débris d'os, et il n'est pas plus riche que les autres roches argileuses.

Les matières organiques existent bien dans les calcaires et dans les grès; mais nous avons constaté qu'elles augmentent notablement quand ces roches sont plus ou moins mélangées d'argiles. Ce sont donc les argiles qui tendent particulièrement à les augmenter, et en effet on vient de voir que les roches argileuses sont généralement riches en matières organiques.

Il est bon d'observer aussi que les roches argileuses et les matières organiques sont habituellement réunies dans les mêmes gisements et de plus intimement associées.

Ainsi, quand les combustibles forment des couches, ils sont très-rarement dans les grès ou dans les calcaires ; presque toujours ils sont intercalés dans des argiles ou des schistes.

D'un autre côté, les combustibles sont fréquemment mélangés avec les roches argileuses ; ils donnent alors des schistes charbonneux ou bitumineux d'une composition très-variable. Tantôt la proportion de matières organiques est supérieure à celle de l'argile, comme dans le boghead, dans le dussodyle, dans la houille du nord de la Russie, et en général dans les combustibles de mauvaise qualité (1). Tantôt c'est l'argile qui est prédominante, et les combustibles deviennent encore plus impurs ou se réduisent à des argiles et à des schistes plus ou moins imprégnés de matières organiques. Parmi ces dernières roches, on peut signaler une argile brune schisteuse qui est intercalée dans l'argile de Kimmeridge de l'île Purbeck : elle a seulement une densité de... 1,32, et elle contient beaucoup de matières organiques qui sont mélangées à environ 80 p. 100 de cendres.

Tous les intermédiaires entre les combustibles et l'argile ou le schiste peuvent être rencontrés et, comme on l'a vu, les roches argileuses renferment généralement une proportion très-notable de matières organiques.

Mais il importe de remarquer que cela a lieu seulement pour les roches argileuses qui sont stratifiées, tandis que les autres contiennent peu de matières organiques. Le kaolin et les argiles résultant de la décom-

(1) Guillemin. *Explorations minéralogiques dans la Russie d'Europe.*

position des roches feldspathiques n'en ont même que des traces.

Cette différence s'explique facilement; car les roches argileuses formées sur la place aux dépens des roches feldspathiques n'ont guère d'autres matières organiques que celles introduites par l'infiltration.

Au contraire, les roches argileuses stratifiées résultent d'un dépôt lent opéré par les eaux; elles ont été mélangées à l'état de vase avec les débris d'animaux et de végétaux de toute espèce; divers produits de la décomposition de ces débris se trouvaient d'ailleurs en dissolution ou en suspension; par suite elles étaient dans les circonstances les plus favorables pour absorber les matières organiques.

Quant à l'origine même de ces matières organiques, elle est tantôt animale, tantôt végétale, le plus souvent l'une et l'autre. Dans les schistes renfermant une multitude d'empreintes de mollusques, de graphtolites, de trilobites, notamment dans ceux du lias, il est impossible de douter que les matières organiques ne proviennent essentiellement de débris d'animaux. Cependant il importe d'observer que, même dans ces dernières roches, la proportion d'azote reste assez faible; car elle elle est inférieure à celle de la houille et de l'anthracite qui sont uniquement formés de végétaux.

En résumé, les roches argileuses sont relativement très-riches en azote et en matières organiques.

Lors même qu'elles sont très-anciennes et appartiennent au terrain silurien, elles peuvent retenir beaucoup de ces matières; il est donc bien visible que les roches enfouies dans le sein de la terre conservent des matières organiques après les plus longues périodes de siècles.

Quand elles sont soumises au métamorphisme, elles

perdent au moins en partie leurs matières organiques, surtout lorsque, devenant cristallines, elles passent au micaschiste et au gneiss ; cependant quelques millièmes d'azote existent encore dans le schiste ardoisier et mâclifère.

ROCHES STRATIFIÉES DE L'ÉPOQUE ACTUELLE.

§ 80. *Alluvions.* Les roches qui se sont formées à l'époque actuelle contiennent une proportion de matières organiques qui est très-variable. Plusieurs de ces roches ont déjà été examinées, et l'on a vu qu'il y a très-peu d'azote dans le sable quartzeux des dunes ou dans le gravier des rivières. Il y en a très-peu également dans les calcaires qui se déposent à l'état de tufs ou de stalactites.

Toutefois, généralement les roches stratifiées de l'époque actuelle sont riches en matières organiques et par suite elles ont une importance spéciale pour l'agriculture; c'est pour ce motif que nous les avons groupées à part.

Nous considérerons successivement celles qui se sont déposées dans l'eau douce ou salée, puis celles qui se trouvent à la surface du sol et constituent les terres végétales.

La proportion d'azote contenue dans les alluvions marines ou lacustres est très-variable, mais généralement plus élevée que dans les roches des époques antérieures, ayant la même composition minéralogique. Un tableau, placé à la fin de ce mémoire, la fait connaître d'après les recherches des divers savants, notamment de MM. Krocker, Boussingault, Payen, Is. Pierre, Hervé-Mangon (*Tableau* IV).

Dans le limon de la rivière des Amazones, l'azote dépasse 6; dans celui du Nil, il est toujours de plusieurs millièmes et il peut même s'élever à 12. D'après

Lassaigne, il y a d'ailleurs 2,80 p. 100 d'acide humique dans ce limon.

La *terre de bri*, qui est renommée pour sa fertilité et qui provient d'alluvions maritimes couvrant 75.000 hectares à l'embouchure de la Charente, renferme... 0,77 d'azote (1).

La *tangue* résulte de la trituration des coquilles qui est opérée par la mer; même lorsqu'elle est très-estimée comme celle du havre de Lessay, elle contient moins d'azote que la plupart des dépôts vaseux laissés par les inondations.

Les alluvions déposées par la mer et par les fleuves peuvent avoir une composition minéralogique variée; mais le plus ordinairement elles sont formées des mêmes substances que les roches stratifiées, c'est-à-dire de silice, de calcaire, d'argile. Quand elles sont sableuses et formées seulement de grains de quartz ou de calcaire, leur richesse en azote et en matières organiques ne diffère pas beaucoup de celle qui a été indiquée pour ces roches. Elle peut alors être très-faible. Elle augmente d'ailleurs dès que ces roches sont en parcelles microscopiques; par exemple, lorsqu'elles proviennent comme le tripoli d'une vase siliceuse ou bien comme la craie d'une vase calcaire. Elle augmente surtout dès que les alluvions renferment des argiles; ainsi elle est très-grande pour le limon ou pour la vase argileuse et marneuse. On comprend du reste que les argiles se trouvant en suspension dans l'eau avec des matières organiques provenant de la décomposition des animaux et des végétaux pourront facilement en absorber une grande pro-

(1) La *terre de bri* a été analysée par M. Manès dans sa *Description du département de la Charente-Inférieure*, p. 198. L'échantillon qui m'a servi au dosage de l'azote avait été recueilli par M. Delbalat, ingénieur hydrographe.

portion. Toutes choses égales, ces argiles renfermeront d'autant plus de matières organiques qu'elles auront plus d'affinité pour ces dernières et qu'elles seront plus exemptes de grains calcaires et siliceux. Le limon du Nil qui a une richesse exceptionnelle est essentiellement argileux. Mais si la richesse des alluvions en matières organiques dépend de leur état de division et de leur composition minéralogique, elle est surtout en relation avec l'abondance des débris animaux ou végétaux qui leur sont mélangés.

On est du reste frappé de leur richesse en Égypte et dans l'Amérique méridionale; quoique cette richesse puisse devenir aussi grande dans nos climats, toutes choses égales, elle paraît augmenter dans les climats chauds. Il faut sans doute l'attribuer à ce que, dans ces climats, les êtres organisés sont beaucoup plus nombreux, particulièrement ceux qui sont microscopiques et qui contribuent pour une part si large à la formation des matières organiques; à ce que la végétation est plus active; enfin à ce que les matières organiques, par suite de l'influence même de la chaleur, s'y décomposent plus rapidement et plus complétement.

§ 81. *Terre végétale.* La terre végétale contient généralement une grande proportion de matières organiques, et elle a une couleur brune ou noirâtre qu'elle doit précisément à leur présence. Son épaisseur est ordinairement limitée à quelques décimètres; elle ne comprend pas tout le terrain de transport qui couvre presque partout la surface du sol et qui a souvent une épaisseur beaucoup plus grande que la terre végétale. C'est donc de la surface même que proviennent l'acide humique et les matières organiques qui constituent la terre végétale; ces matières sont fournies par la décomposition des animaux et des végétaux qui vivent sur cette surface, et des dé-

bris ou moins reconnaissables de ces êtres leur sont d'ailleurs mélangés.

D'après ces considérations, les matières organiques doivent aller en diminuant à partir de la surface ; et, en effet, M. J. Pierre a fait voir que, près de Caen, la couche, qui est à $0^m,25$ du sol, renferme... 12,75 d'azote ; tandis que celle à $0^m,50$ n'en a plus que... 1,01, et celle à 1 mètre seulement... 0,84. La proportion d'azote de la terre végétale est très-variable ; elle dépend de causes très-complexes, parmi lesquelles on peut signaler la composition minéralogique, le gisement, l'état de culture, les conditions de formation et d'engrais.

La détermination de cet azote, bien qu'elle soit importante pour l'agriculture, n'offre donc pas autant d'intérêt que pour les roches qui ont été examinées précédemment.

Le tableau IV donne, d'après divers chimistes, la proportion d'azote trouvée dans quelques terres végétales.

Les échantillons qui proviennent du département de la Seine ont été pris à plus de $0^m,30$ au-dessous du sol, afin que les résultats obtenus fussent moins dépendants de la culture.

L'observation montre que les végétaux peuvent quelquefois se développer, même dans les roches qui sont dépourvues de terre végétale. Ce fait s'explique facilement, puisqu'il a été établi, par les recherches qui précèdent, que la plupart des roches renferment de l'azote et des matières organiques. Les graines sont d'ailleurs très-riches en azote. En outre, il existe de l'ammoniaque et de l'acide nitritique dans les eaux, ainsi que dans l'atmosphère.

Les terres végétales présentent cette particularité qu'elles renferment toujours une assez grande proportion d'azote. Ainsi, l'azote y paraît habituellement com-

pris entre $\frac{1}{2}$ millième et quelques millièmes. Il y a été concentré comme dans la formation de la tourbe.

Toutefois, même dans les terres végétales les plus fertiles, l'azote ne dépasse pas la proportion qui a été trouvée dans quelques argiles ou schistes bitumineux. Il ne dépasse pas non plus celle des limons très-riches, tels que ceux déposés par le Nil et par les Amazones.

D'un autre côté, certaines terres végétales extrêmement fertiles, comme le *tschornoïzem* ou terreau noir de la Russie, ne contiennent pas une grande proportion d'azote, et il y en a au contraire une quantité très-grande dans les terrains tourbeux qui sont peu propres à la culture. Comme l'a démontré M. Boussingault, l'azote d'une terre végétale ne donne donc pas une mesure absolue de sa fertilité.

La composition minéralogique de la terre végétale exerce toujours une grande influence sur sa proportion d'azote. Cette influence est très-sensible, même dans les environs de Paris, où, par suite de la culture et de l'abondance des engrais, la terre végétale est surtout artificielle : on voit, en effet, qu'une terre sableuse comme celle de Fontenay-aux-Roses reste beaucoup moins azotée qu'une terre argileuse comme celle d'Antony ou de la plaine des Vertus. C'est d'ailleurs quand elle est argileuse qu'une terre végétale contient le plus d'acide humique et de matières organiques.

La terre végétale doit généralement sa richesse en azote à ce qu'elle renferme les débris d'un grand nombre d'animaux et de végétaux qui ont vécu à la surface de la terre depuis le commencement de l'époque actuelle. Cependant elle la doit aussi aux roches, aux dépens desquelles elle s'est formée. Par exemple, le *tschornoïzem*, qui couvre une partie de la Russie et qui s'observe à plus de 130 mètres au-dessus des

plaines actuelles, provient, d'après sir Roderick Murchison, d'un remaniement de schistes noirs jurassiques qui sont très-riches en matières organiques. Ces dernières ont d'ailleurs été fournies par les nombreux êtres qui peuplaient la terre à l'époque jurassique. La terre végétale renferme donc des matières organiques provenant des êtres et des roches, non-seulement de l'époque actuelle, mais encore des époques antérieures.

Quant aux matières organiques contenues dans la terre végétale, elles sont en rapport avec son azote; elles peuvent se réduire à quelques millièmes, mais ordinairement elles s'élèvent à plusieurs centièmes. Dans les sols argileux, d'après M. J. Pierre, elles dépassent quelquefois 10 p. 100. Certains sols riches, cultivés depuis longtemps, en ont 25 p. 100 et même davantage. Enfin, la tourbe est une terre végétale qui peut être entièrement formée de matières organiques.

§ 22. *Terre de cimetière.*

Il m'a paru intéressant, au point de vue de la salubrité, de rechercher quelle est l'influence exercée par un cimetière sur le terrain dans lequel il se trouve établi. Dans ce but, j'ai recherché l'azote dans quelques terres provenant des anciens et des nouveaux cimetières de Paris. J'ai d'abord examiné une terre du cimetière Mont-Parnasse; elle était formée par un sable diluvien, argileux et rougeâtre; elle se trouvait à $1^{m},50$ du sol dans un endroit où les inhumations n'avaient pas eu lieu depuis dix ans. Sa proportion d'azote était seulement de... 0,90, c'est-à-dire inférieure à celle de la plupart des terres végétales.

Cette terre avait cependant été prise dans un endroit qui servait de fosse commune, et dans lequel, par conséquent, les inhumations avaient été extrêmement nombreuses. Elle était d'ailleurs peu argileuse.

Les travaux des Halles-Centrales ont mis récemment

à découvert l'ancien charnier des Innocents, qui, pendant longtemps, fut le cimetière le plus important de Paris. J'ai choisi un échantillon de terre entouré par une multitude d'ossements humains ; il appartenait visiblement au terrain de transport marno-sableux déposé par la Seine ; de jaune il était devenu noirâtre ; mais il était à peu près inodore, et il contenait... 1,12 d'azote. Une variété de cette même marne diluvienne, qui était fortement imprégnée par des matières organiques et qui provenait de la Cité, en avait seulement... 0,40 ; enfin, une autre variété, prise dans la rue Sainte-Élisabeth, n'en avait plus que 0,18 (*Tableau* IV). On peut considérer cette marne de la rue Sainte-Élisabeth comme étant à l'état normal ; en sorte que l'augmentation d'azote produite par le cimetière des Innocents est de... 0,94 ; par suite l'azote des matières organiques qui ont été absorbées reste inférieur à un millième.

Enfin j'ai essayé également de la terre de cimetière, qui était encore adhérente à des ossements pris dans les Catacombes de Paris. Cette terre s'était visiblement trouvée dans des conditions qui lui avaient permis de se saturer de matières organiques. Or, bien qu'elle fût argileuse, elle contenait moins de 4 d'azote, et je suis porté à croire qu'elle renfermait alors des débris d'os, car dans un autre échantillon, il y en avait seulement... 2 millièmes ; sa proportion d'azote était donc bien inférieure à celle du limon du Nil ou des Amazones.

Ainsi, la terre qui reçoit un excès de matières organiques animales, comme cela a lieu pour un cimetière, ne conserve pas ces matières en proportion aussi grande qu'on serait tenté de le croire ; il est même très-remarquable qu'elle n'en retienne pas davantage. Il faut l'attribuer à ce que les matières organiques ani-

males sont facilement décomposées, puis entraînées et dissoutes par les eaux qui s'infiltrent dans le sol.

La terre de cimetière absorbe une proportion de matières organiques qui paraît dépendre essentiellement de sa composition minéralogique; cette proportion est d'autant plus grande que la terre est plus argileuse; elle est inférieure ou au plus égale à celle des terres végétales. Du reste, les terres végétales renferment elles-mêmes les débris d'une multitude d'animaux et de végétaux, en sorte qu'elles peuvent être considérées comme des terres de cimetières de l'époque actuelle.

Les roches ossifères qui enveloppent encore des squelettes entiers, ont visiblement reçu les cadavres des animaux avant leur destruction complète; par suite, elles représentent une terre de cimetière antédiluvienne, remontant à une époque très-reculée. Je citerai notamment l'argile des cavernes à ossements, l'argile de Buénos-Ayres; mais dans ces cimetières naturels et fossiles, l'azote de la terre ossifère atteint au plus quelques dix-millièmes, et on peut assurément être surpris qu'il y en ait aussi peu. Il est donc bien visible que les roches enveloppant des animaux, perdent, même avant la fin d'une époque géologique, les matières organiques azotées qui résultent de leur décomposition; en sorte que l'azote des argiles ossifères ne dépasse pas celui des autres argiles.

Les terres de cimetière qui appartiennent à l'époque actuelle absorbent bien une certaine proportion d'azote; cependant elles en retiennent moins qu'un grand nombre de terres végétales et en particulier que les limons fertiles.

Quoique les animaux soient plus riches en azote que

---

(1) *Jahresbericht*, von J. Liebig und H. Kopp, 1855, p. 877.

les végétaux, les produits de leur décomposition sont solubles et disparaissent, en sorte qu'ils introduisent en définitive beaucoup moins d'azote dans le sol qui les enveloppe.

§ 83. *Terres alimentaires.* Il est certaines variétés de terres qui sont employées comme aliments dans les temps de grande disette. Elles sont en usage, non-seulement chez diverses peuplades sauvages de l'Amérique, mais aussi dans la Perse, le Kurdistan, la Sibérie, l'Inde, la Chine. Leur composition minéralogique paraît assez variable ; toutefois, les plus habituelles sont connues sous le nom de *farine fossile.* Elles sont blanches, légères, friables ou pulvérulentes, et M. Ehrenberg a constaté qu'elles sont formées de carapaces siliceuses d'infusoires. De même que le tripoli, elles contiennent une proportion notable de matières organiques azotées. Cependant l'essai d'un échantillon qui provenait de la Chine ne m'a donné que... 0,29 d'azote. Il y a donc de l'azote et des matières organiques dans la *farine fossile*, mais beaucoup moins que dans la plupart des argiles ou des schistes, et que dans les dépôts d'alluvions ou dans les terres végétales. Dans une terre alimentaire que les Tongouses mélangent avec du lait de renne, il paraît du reste qu'il y aurait jusqu'à 8 p. 100 de matières organiques Il est probable cependant que la couleur blanche de la *farine fossile* et la ressemblance que sa finesse et son onctuosité lui donnent quelquefois avec la farine ont surtout contribué à son emploi comme aliment.

Maintenant. les terres signalées comme alimentaires par les voyageurs ne sont pas seulement siliceuses, elles peuvent aussi être argileuses. Il en est qui sont argilo-ferrugineuses ou même formées de débris volcaniques, comme celles intercalées dans des grès, près de la rivière des Amazones. Dans certaines parties

de l'Inde et de l'Amérique méridionale, elles sont d'ailleurs préparées sous forme de petites galettes.

On sait que certains poissons de l'océan Pacifique broutent les récifs calcaires des polypiers, au milieu desquels ils vivent (1); ils nous offrent donc l'exemple d'animaux vertébrés qui se nourrissent en ingérant dans leur estomac des substances qui sont presque entièrement minérales. Les terres ne peuvent assurément fournir qu'un aliment très-peu efficace; mais il importe cependant d'observer que leur usage ne laisse pas que d'être assez répandu; que celles qui sont employées contiennent des matières organiques; qu'elles sont à un état de division extrême, ce qui permet à l'estomac d'absorber facilement les parties nutritives en éliminant les parties terreuses. L'usage de certaines terres, comme aliment, n'est donc pas aussi extraordinaire qu'on est tenté de le croire au premier abord : de même que toutes les pratiques qui nous paraissent ridicules et qui ont été sanctionnées par l'expérience, il a sa raison d'être, et il s'explique jusqu'à un certain point par la présence de matières organiques azotées dans une substance minérale très-divisée.

§ 24. *Terres salpêtrées.*

Un grand nombre de roches contiennent, comme on l'a vu, de très-petites quantités de nitrates, et celles d'entre elles qui en ont le plus sont soumises au lessivage pour en extraire le salpêtre. On peut se demander si ces dernières sont toujours riches en matières organiques azotées (2). Or, dans une palagonite poreuse d'Espaly, qui était à l'entrée d'une cave et qui contenait un peu de nitre, je n'ai pas trouvé d'azote en proportion dosable. Des plâtras provenant des dé-

(1) Lyell. *Manuel de géologie élémentaire*, 1856, t. I, p. 378.
(2) Liebig. *Chimie appliquée à la physiologie vég.*, p. 307.

molitions et pris dans une fabrique de salpêtre à Paris ne m'ont donné que... 0,06 d'azote. Une argile verdâtre et légèrement salpêtrée des cavernes à ossements du Brésil n'en avait que... 0,16. On a vu d'une autre côté qu'il y a.., 0,25 d'azote dans la craie de Meudon, et l'on sait que certaines craies de la Touraine et de la Saintonge servent à extraire du salpêtre. Enfin une argile sableuse et très-salpêtrée de Calcutta, mise à ma disposition par M. Maurey, a donné une proportion d'azote notable qui s'élevait à... 0,76.

Si les terres fortement salpêtrées sont généralement assez riches en matières organiques azotées, la proportion de ces matières est cependant très-variable; elle peut même devenir nulle ou extrêmement faible. Dans ce dernier cas, les nitrates se forment dans des couches profondes, puis ils se déplacent et viennent s'effleurir à la surface du sol; ou bien au contraire ils proviennent d'une combinaison directe de l'acide nitrique de l'atmosphère. Quoi qu'il en soit, tantôt les nitrates se forment aux dépens des matières organiques contenues dans les terres salpêtrées, et c'est en particulier ce qui a lieu dans les cavernes à ossements des climats chauds; tantôt ils résultent de l'acide nitrique de l'atmosphère.

La diffusion des matières organiques azotées dans les roches explique bien la généralité et la grande importance de la nitrification. D'un autre côté, les carbonates paraissent favoriser par leur présence l'oxydation de l'azote, et, en tout cas, ils fixent plus facilement l'acide nitrique.

§ 85. *Eaux.* Les recherches faites dans ces derniers temps ont montré que les eaux provenant, soit de l'intérieur, soit de la surface de la terre, contiennent des matières organiques et de l'azote à différents états. Comme elles

constituent une partie importante de l'écorce terrestre, et comme elles ont participé à la formation non-seulement des roches stratifiées, mais même des roches éruptives, il est nécessaire de s'en occuper spécialement.

Si l'on considère d'abord les eaux souterraines, qu'elles soient douces ou minérales, froides ou chaudes, elles contiennent toutes des matières organiques. D'après M. Lefort, ces matières sont essentiellement l'humus et ses dérivés, les acides crénique et apocrénique, les bitumes, quelques acides tels que l'acide acétique et butyrique qui ont été signalés plus particulièrement dans certaines eaux minérales (1). Il existe, en outre, des matières organiques azotées qui ont une très grande importance dans les recherches qui nous occupent. Elles sont tantôt solubles et tantôt insolubles. Dans le premier cas, elles sont invisibles même au microscope, mais elles se déposent souvent au bout d'un certain temps et, du reste, leur présence se constate facilement par l'évaporation. Elles sont généralement douces au toucher, gélatineuses, et elles ressemblent à un mucilage, d'où vient le nom de glairine donné à celles qui ont été déposées par quelques eaux minérales. Elles varient avec la nature des eaux, et c'est surtout dans celles qui sont minérales et sulfureuses qu'elles ont été observées. § 26. *Eaux souterraines.*

Ces matières organiques ont d'ailleurs la même origine que les substances minérales contenues dans les eaux souterraines; elles proviennent visiblement des roches à travers lesquelles les eaux se sont infiltrées; car nous avons démontré qu'il existe généralement des matières organiques dans les roches et que l'infiltration tend à les enlever. Toutes choses égales, les matières or-

(1) Lefort. *Traité de chimie hydrologique*, p. 296.

ganiques seront d'autant plus abondantes que ces roches en contiendront davantage, que les eaux souterraines seront elles-mêmes plus chaudes et plus minérales.

Maintenant il est facile de comprendre que les matières organiques azotées des eaux souterraines doivent, suivant la loi générale à la surface de la terre, donner lieu au développement d'êtres organisés, soit végétaux, soit animaux. C'est en effet ce que l'examen microscopique a mis hors de doute. Plusieurs observateurs, et notamment M. Cazin, ont constaté qu'il y a de nombreux végétaux confervoïdes dans les eaux minérales. Ces végétaux se forment d'ailleurs dans les eaux douces ou minérales et même dans celles qui atteignent une température de 60°. Ils s'assimilent du soufre et les diverses substances renfermées dans les eaux dans lesquelles ils se développent. Ils sont d'ailleurs très-riches en azote, puisque, d'après M. J. Bouis, ils en renferment plus de 5 p. 100.

Les infusoires existent aussi dans les eaux souterraines; ils ont même été signalés dans les eaux minérales alcalines ou acides, et de plus dans celles qui sont très-chaudes, comme à Carlsbad (1).

D'un autre côté, le gaz azote se dégage des volcans, des eaux souterraines et particulièrement des eaux minérales. Ce gaz accompagne notamment les eaux minérales des Pyrénées qui sont sulfureuses.

L'ammoniaque se trouve dans les eaux souterraines. Dans certains puits de Paris, il y en a jusqu'à 34 milligrammes par litre (Boussingault); et l'on peut même admettre que généralement les eaux qui circulent dans le sol sont faiblement ammoniacales.

---

(1) *Ehrenberg Microgeologie.*— A. Boué. *Bulletin de la société géologique*, 1844, t. VI, p. 298.

Les eaux minérales qui émergent du granite ne contiennent pas d'ammoniaque, d'après M. Bouis, tandis qu'il y en a quelquefois plusieurs millièmes dans celles qui s'infiltrent à travers les roches stratifiées. Ce résultat s'explique aisément d'après la proportion d'azote que nous avons obtenue pour ces différentes roches, et l'ammoniaque, comme les autres substances dissoutes dans les eaux minérales, dépend surtout du milieu dans lequel s'opère l'infiltration.

Les nitrates et divers sels ammoniacaux existent aussi dans les eaux souterraines, qu'elles proviennent de puits ou de sources (1). Ils sont surtout très-abondants dans les eaux près desquelles il existe des habitations ou dans celles qui ont filtré à travers des plâtras ; à Paris, c'est extrêmement marqué pour les puits qui sont dans la partie basse et dans les vieux quartiers. L'existence de couches puissantes de nitrate de soude comme celles du Pérou montre, du reste, que dans certaines circonstances les nitrates peuvent devenir très-abondants.

Le chlorhydrate et le carbonate d'ammoniaque ont l'un et l'autre été signalés dans les eaux minérales.

Les eaux sulfureuses des Pyrénées contiennent de l'alun ammoniacal et du sulfate de soude ammoniacal (2). La larderellite qui se dépose dans les lagoni de la Toscane est, d'après M. Bechi, de l'hydroborate d'ammoniaque, et les recherches de MM. Abich et C. Schmidt ont démontré que les eaux mères desquelles on extrait l'acide borique sont extrêmement riches en sels ammoniacaux. L'iodhydrate d'ammoniaque a même été indiqué par M. Warrington dans le émanations de Vulcano. Quoi de plus naturel, d'ailleurs, que les eaux

(1) Liebig. *Chimie appliquée à la physiologie vég.*, p. 316.
(2) Bouis. *Comptes rendus*, t. XLVI, p. 229.

souterraines et en particulier les eaux minérales contiennent divers sels ammoniacaux, puisque ces sels et surtout le chlorhydrate d'ammoniaque sont fréquemment dégagés par les volcans?

§ 87. *Eaux superficielles.* Quant aux eaux superficielles, on comprend qu'elles doivent également contenir des matières organiques azotées. Ces matières sont surtout en grande proportion dans les eaux stagnantes; mais elles existent aussi dans les eaux vives. MM. Chevandier et Salvétat ont même reconnu qu'elles contribuent à les rendre plus fertilisantes.

La proportion de ces matières organiques pour 1 litre d'eau de mer très-limpide prise à Arcachon serait, d'après M. Fauré, de 0,52 milligrammes. Pour les eaux douces de la Russie méridionale, M. Edmond Guillemin en a trouvé une proportion assez variable : ainsi, le Dniéper en a seulement 0,048 milligrammes, le Karasou qui coule dans la steppe de la Crimée 0,050; tandis que le Donetz en a 0,210 et le Don 0,515.

Les matières organiques contenues dans les eaux sont faciles à constater par l'évaporation; elles peuvent d'ailleurs être comparées par la quantité de permanganate de potasse dont elles opèrent la réduction. Tandis qu'un litre d'eau de Seine décolore 6 milligrammes de permanganate de potasse à Bercy, il en demande 7,1 à Passy. La Bièvre en décolore 58. Les eaux de puits dans Paris de 3 à 12 milligrammes. L'eau distillée du commerce réduit elle-même de 1 à 3 milligrammes de permanganate de potasse (1).

De même que les matières minérales, les matières organiques dépendent des roches à travers lesquelles les eaux coulent et s'infiltrent; elles doivent provenir en grande partie de l'humus, et par conséquent il est

(1) E. Monnier. *Comptes rendus*, t. L, p. 1084.

naturel qu'elles augmentent dans les contrées riches en terre végétale.

Les matières organiques qui existent dans les eaux étant azotées, permettent le développement d'une multitude d'animaux et de végétaux. Ces êtres sont généralement microscopiques; mais les recherches de MM. Ehrenberg, Morren, Dujardin, Pritchard, Bailey, et du capitaine Maury, ont permis d'apprécier toute leur importance; ils peuplent à la surface de la terre les eaux douces aussi bien que les eaux salées, et leur nombre est tel que leurs dépouilles tombant sous forme de poussières fines au fond des lacs et de la mer, contribuent d'une manière puissante à la formation des roches stratifiées.

Indépendamment des matières organiques, l'azote à l'état de gaz est dissous dans les eaux des lacs, des fleuves et de la mer.

D'un autre côté, l'ammoniaque existe dans l'atmosphère, et M. Liebig a signalé sa présence dans l'eau de pluie; elle existe aussi dans toutes les eaux superficielles, ainsi que l'a établi M. Boussingault. Sa proportion par litre est à peu près... 0^{mmg},02 pour les sources,... 0^{mmg},17 pour les rivières; elle est de... 0^{mmg},20 pour la mer à Dieppe.

La glace elle-même contient un peu d'ammoniaque, et M. Horsford en a trouvé environ 1 millionième dans celle des glaciers du mont Blanc.

L'acide nitrique a été depuis longtemps signalé dans les eaux de pluie d'orage, et M. Boussingault a constaté de plus des traces de nitrate dans toutes les eaux.

L'eau de rivière ne contient pas moins de 0^{mmg},006 de nitre par litre. Comme on pouvait le prévoir, la proportion de nitre que contient une eau varie avec la nature des roches formant le bassin hydrographique qui la fournit. Par exemple, il n'y a presque pas de nitrates

dans les lacs creusés dans les roches granitiques; il y en a peu également dans l'eau du grès des Vosges, tandis qu'il y en a beaucoup dans l'eau des marnes et des argiles. C'est d'ailleurs à la surface du sol que se forment les nitrates; car telle roche, comme la craie, qui n'en a pas au moment où on l'extrait de la terre peut en renfermer beaucoup après qu'elle a été exposée à l'action de l'atmosphère (1).

Enfin il existe généralement un peu de carbonate d'ammoniaque dans l'eau; celle qui est distillée n'en est même pas complétement exempte. Du chlorhydrate d'ammoniaque s'obtient aussi par l'évaporation de l'eau de mer.

L'azote se trouve donc à différents états, soit dans les eaux souterraines, soit dans les eaux superficielles, lors même qu'elles sont à l'état de glace. Ces eaux peuvent renfermer des matières organiques azotées, de l'azote libre, de l'ammoniaque, de l'acide nitrique, des nitrates et divers sels ammoniacaux. Comme elles ont généralement participé à la formation des substances minérales qui composent l'écorce terrestre, il est facile de concevoir pourquoi ces dernières contiennent un peu d'azote.

§ 88. *Émanations gazeuses.* L'azote et les produits azotés se retrouvent encore soit dans les émanations gazeuses et souterraines de notre globe, soit dans l'atmosphère qui l'entoure.

Les émanations gazeuses se dégagent par les fissures de l'écorce terrestre; elles accompagnent surtout les eaux minérales et les déjections volcaniques; elles proviennent de réactions qui s'opèrent à l'intérieur de la terre. D'abord elle peuvent contenir des matières organiques azotées, et on ne doit pas en être surpris, puisque ces matières se retrouvent jusque dans l'eau distillée de nos laboratoires.

---

(1) Boussingault. *J. d'agric. pratique*, 1857, t. VII, p. 109.

Maintenant l'azote libre existe dans les émanations gazeuses; car, d'après A. de Humboldt, le gaz qui s'échappe des volcanitos de Turbaco est de l'azote pur (1). D'après M. Ch. Sainte-Claire Deville, il en est de même pour celui de la source Santa-Venerina, sur les flancs de l'Etna. M. Bunsen a constaté aussi que les fumaroles de l'Hécla contiennent 82 p. 100 d'azote. Enfin, M. Bornemann a reconnu que le gaz accompagnant les eaux thermales de la Sardaigne est également riche en azote. La présence de cet azote est d'ailleurs très-naturelle, et il peut provenir de l'air atmosphérique ou bien des matières organiques enfouies dans les couches terrestres.

Dans les émanations gazeuses, l'azote se montre aussi combiné et à l'état d'ammoniaque ou de sels ammoniacaux, particulièrement de chlorhydrate d'ammoniaque. M. Daubeny pense que l'ammoniaque peut alors se produire par une combinaison directe de l'azote avec l'hydrogène, qui aurait lieu dans les foyers volcaniques et sous l'influence d'une grande pression; ou bien encore par la décomposition d'azotures métalliques tels que ceux de titane et de fer (2). D'après M. Ch. Sainte-Claire Deville, l'ammoniaque proviendrait encore, dans certaines circonstances, de la décomposition de l'azoture de bore. Nous avons vu d'un autre côté, par tout ce qui précède, que la plupart des roches, même lorsqu'elles sont éruptives, contiennent des matières organiques azotées; par conséquent la formation de l'ammoniaque s'explique aussi très-facilement par la distillation que ces matières doivent subir au voisinage des foyers volcaniques.

Les études faites dans ces dernières années sur l'atmosphère par MM. Liebig, Barral, Boussingault, Fresenius, Bence Jones, Bineau, Lawes et Gilbert ont appris § 20. *Atmosphère.*

(1) *Cosmos*, t. IV, p. 459.
(2) Daubeny. *Quart. Journal f. Geological Society*, 1858, p. 295.

qu'elle renferme, indépendamment de l'azote, de l'ammoniaque, de l'acide nitrique, ainsi que des matières organiques azotées. Les eaux météoriques dissolvent ou enveloppent comme d'un réseau les diverses substances en suspension dans l'atmosphère, et elles les entraînent dans leur chute en produisant un effet analogue à celui d'un précipité d'alumine qui se dépose dans une liqueur; aussi le brouillard, la neige et la grêle en sont-ils plus fortement chargés que la pluie. D'après M. Barral, dans une eau pluviale, on trouve quelques dixièmes de milligrammes à 4 milligrammes par litre; dans l'eau de la rosée, il y a environ 6 milligrammes et près de 50 milligrammes par litre dans l'eau du brouillard. Dans un brouillard épais de Paris, il y avait même jusqu'à 137,85 d'ammoniaque (1). On peut admettre que les eaux météoriques contiennent en moyenne 0,74 millig. d'ammoniaque par litre. Il y a donc moins d'ammoniaque dans les sources, dans la mer, dans les fleuves et dans les eaux qui coulent à la surface du sol que dans les eaux de pluie et dans les eaux météoriques. Il y en a surtout beaucoup dans la neige, dans la rosée et dans le brouillard.

L'acide nitrique existe dans la pluie, mais particulièrement dans la neige et dans la grêle, où il atteint quelques milligrammes par litre.

Les matières organiques azotées de l'atmosphère ont d'abord été signalées par Brandes et elles se retrouvent dans toutes les eaux météoriques. Leur proportion a été déterminée par M. R. A. Smyth au moyen d'une liqueur titrée d'hypermanganate de soude qu'il faisait agir sur un volume d'air constant (2). Il a re-

(1) Boussingault. *Comptes rendus*, t. XXXVI, p. 184, et t. XXXVII, p. 207 et 798.

(2) Hermann Kopp und H. Will. *Jahresbericht über die Forschritte der Chemie*, 1858, p. 108; 1859, p. 116.

connu ainsi que le volume de la liqueur titrée susceptible d'être décoloré était 53 dans la ville de Manchester, 14 dans ses environs, 2,8 dans un bois près de Chamouny, 1,4 au lac des Quatre-Cantons. Les matières organiques de l'air sont donc en proportion très-variable et elles augmentent beaucoup dans les villes, surtout dans celles qui consomment une grande quantité de combustibles.

Du reste, elles existent aussi dans la neige; en effet, M. Marchand y a trouvé, sur 1.000 parties, 0,024 de matières organiques azotées, ainsi que 0,001 de bicarbonate d'ammoniaque et 0,002 de nitrate d'ammoniaque.

Les matières organiques trouvées dans les eaux météoriques sont visiblement fournies par l'atmosphère. Elles proviennent des animaux et des végétaux vivant à la surface de la terre, dont les débris sont facilement entraînés, lorsqu'ils sont réduits à un état de ténuité suffisant et lorsque l'air est agité. Elles proviennent aussi d'êtres microscopiques, dont les germes, répandus dans l'atmosphère, deviennent, d'après les belles recherches de M. Pasteur, l'origine de la vie dans les infusions et dans les liqueurs capables de fermenter (1).

En outre, la combustion et les émanations gazeuses répandent encore dans l'atmosphère divers produits volatils qui résultent de la destruction des matières organiques.

§ 90. Poussières.

Enfin, des matières inorganiques sont également en suspension dans l'atmosphère, et leur quantité augmente beaucoup avec son état d'agitation. Elle deviennent quelquefois très-considérables, comme l'appren-

(1) *Comptes rendus*, 7 février, 7 mai, 3 septembre et 9 novembre 1860. — Pouchet. *Hétérogénie* ou *Traité de la génération spontanée*. Paris, 1859. — Ehrenberg. *Travaux divers* — *Comptes rendus de l'Académie*. Observations de MM. Milne-Edwards, de Quatrefages, Dumas, Cl. Bernard sur le même sujet.

nent les transports de sables dans les déserts et les dépôts de cendres rejetées par les volcans (1).

Les poussières qui recouvrent si rapidement tous les objets viennent d'ailleurs démontrer l'existence de matières en suspension dans l'atmosphère, et en même temps faire apprécier leur importance. Ces poussières s'observent non-seulement à la surface du sol, mais encore dans les mines et dans les carrières abandondonnées. Elles sont du reste azotées comme on pouvait le prévoir d'après leur origine; j'ai même conconstaté qu'une poussière noirâtre, très-fine, accumulée depuis plusieurs années à la partie supérieure d'un appartement, contenait... 10,55 d'azote. Une autre qui provenait d'un grenier a donné... 10,10. Les poussières de l'atmosphère qui se déposent dans ces conditions sont donc en partie formées de corps organisés et leur composition paraît être assez constante.

De même que le limon de la mer gagne le fond quand il est transporté dans une eau calme, les poussières de l'atmosphère se déposent dans les lieux où l'air est le moins agité; par suite, elles doivent surtout être abondantes dans les vallées et dans les plaines. Elles contribuent, d'une manière sensible, à la formation de la terre végétale; car, indépendamment des débris laissés par les végétaux et par les animaux qui ont vécu sur place, des débris organiques ayant des dimensions microscopiques, sont transportés par l'atmosphère et recouvrent sans cesse la surface du sol. Si l'on tient compte maintenant de l'énorme durée que comprend une période géologique, il est facile de comprendre que les poussières de l'atmosphère donneront des dépôts qui ne seront plus négligeables; par suite, elles ont

(1) Élie de Beaumont. *Leçons de géologie pratique*, t. I.

contribué à former la terre végétale de toutes les époques géologiques.

RÉSUMÉ.

§ 91. Extrême diffusion des matières organiques.

Les recherches précédentes avaient spécialement pour but l'étude des faits; proposons-nous maintenant de les résumer et d'en donner en même temps l'explication.

L'expérience nous a montré que les matières organiques sont extraordinairement répandues dans l'écorce terrestre. Le plus souvent elles sont, il est vrai, en très-petite quantité : mais d'un autre côté, il en existe des traces dans presque toutes les substances minérales. Elles forment des composés très-variés et elles constituent notamment les minéraux organiques. Elles forment aussi l'acide humique et d'autres composés voisins, signalés par M. P. Thenard, qui existent, non-seulement dans la terre végétale, mais encore dans un grand nombre de roches. Elles contiennent généralement du carbone, de l'oxygène, de l'hydrogène et de l'azote; de sorte que les quatre corps qui sont indispensables au développement des êtres, animaux ou végétaux, présentent une diffusion extraordinaire et se retrouvent, pour ainsi dire, partout.

§ 92. Elles proviennent de corps organisés.

Cherchons d'abord quelle est l'origine de ces matières organiques de l'écorce terrestre.

Il est évident, comme leur nom l'indique, qu'elles peuvent provenir de la destruction de corps organisés. Ces derniers étaient, soit les animaux, soit les végétaux, qui ont peuplé la terre aux différentes époques géologiques; ils ont été plus ou moins altérés par les divers agents qui s'exercent sur l'écorce terrestre et ils ont produit des matières organiques.

Indépendamment des êtres qui frappent le plus nos regards, il y a d'ailleurs des animaux ou des végétaux

microscopiques. Parmi ces derniers, les conferves et les infusoires méritent d'être mentionnés spécialement.

Les conferves qui appartiennent à la classe des algues s'observent dans les eaux douces ou salées et dans les eaux minérales, même lorsqu'elles ont une température élevée.

Les infusoires ont également une importance très-grande, car ils se multiplient avec une rapidité extraordinaire, et comme l'ont signalé MM. Ehrenberg, Bailey, Pritchard, ils ont contribué d'une manière très-efficace à la formation des roches. Leur composition chimique est quaternaire comme celle des autres corps organisés. Les recherches de MM. Morren, Bineau, Wöhler, ont montré qu'ils exhalent de l'oxygène sous l'influence du soleil, et qu'ils décomposent l'acide carbonique. Ils se comportent donc comme les végétaux; aussi les infusoires paraissent-ils devoir être considérés presque tous, non pas comme des animaux, mais comme des végétaux se rapportant à des algues très-simples, les diatomacées. C'est notamment ce qui est très-vraisemblable pour ceux qui secrètent une carapace siliceuse.

Quoi qu'il en soit, les infusoires se développent dans les eaux douces et dans les eaux salées. Ils abondent dans les eaux ferrugineuses qui déposent le minerai de fer des marais. Ils se développent encore dans des eaux contenant beaucoup d'hydrogène sulfuré, bien que ce gaz soit un poison énergique; ils ont même été observés dans la mer Morte, dans laquelle il n'y a pas d'autres êtres organisés. Ils vivent dans un air contenant quelques centièmes d'acide carbonique. Ils sont disséminés dans l'atmosphère et ils se retrouvent jusque sur les hauts sommets des Alpes, particulièrement dans la neige rouge. Ils existent dans les plus grandes profondeurs de la mer et dans les couches élevées de l'atmosphère. Ils

vivent non-seulement à la surface de la terre, mais même dans son intérieur; et aux environs de Berlin, dans un sous-sol poreux, ils se montrent jusqu'à 20 mètres de profondeur.

D'un autre côté, les infusoires résistent également au froid et à la chaleur. Car ils se développent sur les plus hautes montagnes, à des altitudes auxquelles tous les animaux et tous les végétaux ont disparu. Ils se retrouvent même dans les glaciers ainsi que dans les glaces du pôle nord et du pôle sud.

Maintenant ils s'observent aussi dans le phonolithe, la ponce, le trass, la inoya, les lapilli, les boues et les cendres volcaniques, c'est-à-dire dans des roches formées par les volcans. Les expériences de MM. Pasteur, Doyère, Pouchet, Gavarret font voir d'ailleurs qu'ils ne sont pas détruits dans l'air ou dans l'eau par une température de 100°, pourvu qu'elle ne se prolonge pas au delà de quelques minutes; par conséquent, ils résistent aux températures les plus extrêmes.

Certains animaux et végétaux microscopiques peuvent exister dans des conditions qui amèneraient la destruction des autres. En effet, des rotifères se sont ranimés après être restés quatre-vingt-deux jours dans le vide sec et après avoir été soumis à une température de 100° pendant une demi-heure. De même, les graines d'une moisissure qui altère le pain résistent à 140° sans perdre la puissance de germer.

Enfin les recherches récentes de M. Pasteur sur la fermentation conduisent à des résultats qui sont encore beaucoup plus extraordinaires. Car les animaux et les végétaux microscopiques, qui prennent naissance dans la fermentation, peuvent se développer même sans oxygène libre. Sous ce rapport, ils diffèrent complétement des animaux et des végétaux ordinaires qui vivent

seulement en présence de l'oxygène gazeux. Si, comme cela est vraisemblable, l'oxygène leur est encore nécessaire, ils le prennent sans doute aux matières organiques qu'ils décomposent; tandis que le contact de l'oxygène libre ou de l'atmosphère arrête leurs mouvements et les fait même périr immédiatement (1).

La diffusion des êtres, animaux ou végétaux, et particulièrement de ceux qui sont microscopiques, est, en un mot, presque aussi grande que celle des matières organiques elles-mêmes. Ces êtres ont dû contribuer à répandre des matières organiques, non-seulement dans les roches stratifiées de toutes les époques, mais encore dans les roches éruptives, que leur origine fût aqueuse ou même ignée.

§ 93. Elles ont pu se former par synthèse.

Cependant si l'on remonte dans la série des âges, par cela même que les matières organiques servent au développement des êtres, elles devraient exister avant ces derniers. On est certain du moins que, dès l'origine, il y avait à la surface de la terre des matières contenant les éléments des végétaux; il y avait en particulier celles qui paraissent indispensables à leur développement, c'est-à-dire l'acide carbonique, l'eau, l'oxygène, l'ammoniaque ou les nitrates. Il est d'ailleurs facile de concevoir les matières organiques formées directement et de toutes pièces par la combinaison de leurs éléments. Les expériences remarquables de M. Berthelot démontrent même que, pour un grand nombre d'entre elles, cette synthèse est possible dans le laboratoire (2); par suite, rien ne s'oppose à ce qu'elle soit admise également dans la nature où les mêmes minéraux sont

(1) Pasteur. *Communication à la Société Philomathique.*

(2) Berthelot. *Chimie organique fondée sur la synthèse.* Mallet-Bachelier, 1860.

souvent engendrés par des procédés entièrement différents.

D'après cela, les matières organiques trouvées dans les pierres météoriques ne suffisent pas pour admettre, comme l'ont fait quelques savants, que ces pierres proviennent de régions habitées par des êtres.

Les roches de l'écorce terrestre qui ont précédé l'existence des végétaux et des animaux pouvaient renfermer des matières dites organiques; en tout cas, elles contenaient le carbone, l'hydrogène, l'oxygène et l'azote qui sont indispensables au développement des êtres.

Voyons maintenant comment on peut expliquer la présence des matières organiques dans les principales roches.

§ 94. Leur origine dans les roches stratifiées.

Si l'on considère d'abord les roches stratifiées, elles ont été déposées par l'eau ou par l'atmosphère; par conséquent, elles doivent contenir les débris des êtres organisés qui se sont développés à la surface de notre globe, depuis qu'il a commencé à être peuplé. Ces êtres sont les animaux et les végétaux qui se trouvaient dans la mer, dans les eaux douces et à la surface de la terre aux différentes époques géologiques; les végétaux, les mollusques, les infusoires, les êtres microscopiques, devaient être les plus répandus et contribuer surtout à former des matières organiques. Les eaux et l'atmosphère étaient de plus chargées elles-mêmes de matières organiques, indépendamment de ce qu'il s'y trouvait des êtres organisés. Les roches argileuses, calcaires ou siliceuses recevaient donc les débris d'êtres organisés à mesure que leur dépôt s'opérait, et elles s'imprégnaient aussi des matières organiques tenues en suspension qui servaient au développement de ces êtres. Il n'est pas de roche stratifiée qui n'entraîne avec elle des matières

organiques. Dans le limon de la Seine, par exemple, M. Poggiale en a obtenu plus de 3 p. 100. Quelquefois ces matières deviennent tellement abondantes, qu'elles constituent une partie notable de la roche; c'est en particulier ce qui a lieu dans les argiles et dans les schistes bitumineux. Enfin, à la limite, il se produit des roches, comme les combustibles, qui sont entièrement formées de matières organiques.

Les roches engendrées dans l'atmosphère contiennent aussi des matières organiques, et même elles peuvent, comme la terre végétale, en renfermer beaucoup. Les infusoires et les matières organiques se retrouvent du reste jusque dans le trass, dans la moya, dans les cendres et dans les roches stratifiées dont l'origine est volcanique. Les roches déposées dans les eaux douces ou salées, sont tantôt pauvres et tantôt riches en matières organiques; cependant les plus riches ont habituellement une origine lacustre ou atmosphérique.

La composition minéralogique et l'état physique des roches stratifiées influe d'ailleurs sur la proportion de leurs matières organiques, aussi bien que les conditions dans lesquelles elles se sont formées. Toutes choses égales, elles contiennent généralement d'autant plus de matières organiques qu'elles sont plus argileuses.

§ 95. Leur origine dans les roches non stratifiées.

Passons aux roches non stratifiées, qui peuvent être divisées en deux grandes classes suivant qu'elles sont volcaniques ou plutoniques. Lorsque les roches volcaniques sont complétement anhydres, l'expérience montre qu'elles ne renferment pas de matières organiques ou seulement des traces. Il est probable, d'après cela, que ces matières ont alors été introduites postérieurement, soit par l'atmosphère, soit par l'infiltration des eaux de la surface. Dès que les roches volcaniques sont hydratées, elles contiennent des matières organi-

ques ; il est facile de le constater pour le rétinite et l'obsidienne ; quelquefois même certains trapps et basaltes en sont complétement imprégnés. Leurs matières organiques sont certainement venues de l'intérieur de la terre ; elles ont accompagné les eaux souterraines associées à la roche volcanique ; elles peuvent d'ailleurs être originaires, ou bien résulter de l'action de cette roche sur les couches à travers lesquelles elle a fait éruption. Du bitume, par exemple, s'est produit sans doute de cette manière. Bien que le trachyte ne renferme généralement pas de matières organiques, il y en a cependant dans les veines d'opale qui le traversent ; ces matières proviennent des eaux qui ont déposé l'opale dans lesquelles se développaient du reste des infusoires.

Les matières organiques qui se trouvent dans une roche éruptive ne doivent pas nécessairement être attribuées à l'infiltration, même lorsque cette roche est volcanique ; toutefois la température à laquelle cette roche a été soumise était insuffisante pour détruire et volatiliser les matières organiques qu'elle renferme.

Les météorites offrent des caractères qui les rapprochent beaucoup des roches volcaniques ; cependant elles contiennent quelquefois des matières organiques qui ont essentiellement une origine cosmique comme les météorites elles-mêmes ; une petite partie de ces matières, et, en particulier l'azote, peut d'ailleurs provenir de l'atmosphère terrestre qu'elles ont traversée.

Les roches plutoniques, comme la serpentine, l'euphotide, le mélaphyre, la diorite, le porphyre, le granite, contiennent également des matières organiques. Ces matières accompagnaient certainement l'humidité ou l'eau souterraine d'imbibition en présence de laquelle les roches plutoniques se sont formées. L'infiltration et

l'atmosphère n'ont pu en introduire qu'une très-minime partie.

L'existence de matières organiques dans les roches éruptives vient, du reste, confirmer les idées que j'ai émises précédemment sur l'origine de ces roches.

§ 96. Leur origine dans les roches anormales.

Les roches anormales, qui comprennent les gîtes métallifères, nous présentent des minéraux généralement bien cristallisés. C'est seulement par exception que des êtres organisés viennent à s'y rencontrer; cependant les infusoires pouvaient encore se développer dans les eaux, tantôt froides, tantôt chaudes qui ont généralement engendré les roches anormales. De plus, ces eaux, comme toutes celles qui coulent à la surface ou dans l'intérieur de la terre, contenaient nécessairement elles-mêmes des matières organiques qui sont restées mélangées avec les minéraux au moment de leur cristallisation.

Le plus souvent les minéraux des roches anormales n'ont retenu que des traces de ces matières organiques; mais le bitume, la copaline et diverses substances qui leur sont quelquefois associées, montrent bien que les matières organiques peuvent également s'y trouver en proportion très-notable.

§ 97. Les matières organiques sont plutôt diminuées qu'augmentées par l'action de l'atmosphère et de l'eau.

Les roches, à la surface ou dans l'intérieur de la terre, sont pénétrées soit par l'atmosphère, soit par l'eau, et soumises à une infiltration. Comme l'atmosphère et l'eau renferment elles-mêmes des matières organiques, il paraît assez naturel de penser que les matières organiques des roches proviennent de cette infiltration aérienne ou aqueuse. Mais il est facile de constater qu'il n'en est pas ainsi.

En effet, si l'on considère des roches prises à la surface du sol et très-poreuses, elles se trouvent dans les meilleures conditions pour s'imprégner des matières

organiques de l'atmosphère. Or l'expérience montre que certaines laves et diverses autres substances satisfaisant à ces conditions, ne contiennent pas de matières organiques ou seulement des traces insignifiantes. Il faut donc reconnaître que l'atmosphère, bien qu'elle donne lieu à une infiltration, augmente extrêmement peu les matières organiques.

On sait, en outre, que les corps organisés qui restent exposés à l'action de l'atmosphère ne tardent pas à être complétement détruits.

L'expérience a montré du reste qu'il est utile de laisser exposés à l'air le kaolin et l'argile qui sont destinés à la fabrication des poteries; c'est ce qu'on appelle les faire pourrir. L'atmosphère tend alors à faire disparaître les matières organiques qu'elle détruit par une combustion lente, et comme, dans la cuisson, ces matières peuvent altérer les poteries en se décomposant, la pratique qui est suivie se justifie très-bien.

Enfin, M. Boussingault a constaté que la terre végétale, mise en jachère, perd une notable proportion de son carbone par une combustion lente, due à l'action de l'humidité, de l'air et de la lumière; par conséquent, l'atmosphère tend plutôt à diminuer qu'à augmenter les matières organiques (1).

L'eau est d'ailleurs beaucoup plus importante à considérer que l'atmosphère; car, superficielle ou souterraine, l'eau renferme une proportion très-notable de matières organiques, et il est nécessaire de rechercher dans quelles limites elle peut en imprégner les roches.

Or, M. Ehrenberg a examiné au microscope la craie qui forme le fond de la mer à Rugen, et il a reconnu

(1) *Journal d'agriculture pratique*, 1859, t. I, p. 241.

que les carapaces siliceuses d'infusoires vivant actuellement au-dessus de cette craie y pénètrent à peine de quelques centimètres, lors même que leurs dimensions sont les plus petites. Les êtres organisés microscopiques qui existent dans l'eau sont donc arrêtés très-promptement par la filtration; les petits interstices restant libres ne tardent à s'obstruer, en sorte que ce sont surtout les matières organiques en dissolution qui doivent imprégner les roches.

Lorsque ces matières organiques rencontrent des substances minérales comme les argiles pour lesquelles elles ont une grande affinité, elles peuvent s'y fixer et même s'y concentrer; c'est notamment ce qui a lieu à la surface du sol pour la terre végétale qui est essentiellement argileuse. Maintenant, une eau venant de l'intérieur du sol et chargée de matières organiques, telles, par exemple, que le bitume, peut également imprégner d'autres roches.

Mais généralement, les matières organiques n'ont pas été introduites postérieurement et par l'infiltration. Que l'on compare, en effet, les matières organiques trouvées dans les roches avec leur pouvoir absorbant. On voit alors que certaines roches, telles que le kaolin, diverses argiles et terres à foulon, ne renferment que des traces d'azote et de matières organiques, bien qu'elles en absorbent beaucoup quand elles en sont imbibées. Il en est encore de même pour l'argile feuilletée et pour l'écume de mer qui, de toutes les substances essayées, sont celles qui s'imbibent le plus d'eau et de matières organiques (§ 6, 30, 77).

Bien que toutes ces roches aient été exposées à l'infiltration dans l'intérieur de la terre et bien qu'elles aient une grande affinité pour les matières organiques, non-seulement elles n'en sont pas saturées, mais elles

peuvent même n'en contenir qu'une très-petite proportion. Il est donc bien visible que les matières organiques des roches doivent moins être attribuées à l'infiltration qu'aux circonstances dans lesquelles ces roches se sont formées.

J'ajouterai même que l'eau tend plutôt à diminuer qu'à augmenter les matières organiques. Il est facile d'en acquérir la preuve en déterminant l'azote dans une roche à l'état normal et à divers états d'altération. L'expérience montre alors que l'azote diminue dans le granite, dans le porphyre, dans la minette, dans le trapp, lorsque ces roches se changent en arène, en argile ou en kaolin. C'est surtout bien sensible pour le kaolin. Par conséquent, lorsqu'une roche se décompose sur place, l'infiltration de l'eau y diminue les matières organiques.

Ainsi, l'atmosphère et l'eau n'augmentent pas toujours les matières organiques contenues dans les roches; elles peuvent même les diminuer comme cela a lieu lorsque les roches se décomposent. Les matières organiques des roches ne proviennent donc pas de l'infiltration, et généralement elles doivent être considérées comme originaires.

Les matières organiques étant peu stables, il est facile de comprendre qu'elles seront facilement modifiées par les divers agents qui s'exercent à la surface ou à l'intérieur de la terre. Ces agents sont très nombreux, mais les plus importants à considérer sont l'atmosphère, l'eau, la chaleur. Ils font subir diverses transformations aux matières organiques, et ils peuvent même les détruire complétement. § 98. Agents qui modifient les matières organiques.

L'atmosphère modifie les matières organiques avec lesquelles elle est en contact, et elle tend surtout à les oxyder. L'état sous lequel ces matières se présentent

dans la terre végétale est le plus stable à l'égard de l'atmosphère.

C'est essentiellement l'eau qui produit les transformations remarquables que présentent les corps organisés lorsqu'ils sont enfouis sous terre et fossilisés. Dans les végétaux, par exemple, c'est elle qui change le bois en lignite, puis en houille.

Bien que les minéraux organiques soient facilement altérables, ils peuvent d'ailleurs être très-stables à l'égard de l'infiltration. Car le succin se conserve très-bien dans le sein de la terre, et il préserve même de la destruction les insectes qu'il enveloppe; d'un autre côté, la mellite et les résines fossiles sont connues dans le terrain houiller; enfin, les bitumes se retrouvent jusque dans des terrains les plus anciens.

La chaleur fait subir aux matières organiques une décomposition et une distillation; elle dégage des bitumes, des hydrogènes carbonés, et divers produits gazeux qui peuvent alors accompagner les roches éruptives. Lorsqu'elle est très-intense elle détruit complétement les matières organiques; c'est ce qui explique leur absence dans la plupart des laves bien caractérisées. Lorsqu'elle n'est pas suffisante pour dégager complétement l'eau et pour détruire les manières organiques, ces dernières se retrouvent dans les roches éruptives, lors même qu'elles sont volcaniques : tel est le cas pour le basalte, le trapp, le rétinite, l'obsidienne.

Les hydrogènes carbonés, tels que le gaz des marais, la naphtaline, la benzine, qui ne sont pas décomposés au rouge sombre, et les bitumes, si analogues à ces derniers carbures, montrent d'ailleurs que certaines matières organiques peuvent résister à une température élevée; la présence des matières organiques peut donc se concevoir, même dans les roches volcaniques.

Maintenant l'existence de matières organiques dans les roches granitiques suffirait seule à démontrer qu'elles n'ont pas été soumises à une forte chaleur et qu'elles n'ont pas une origine ignée (1).

L'eau, secondée par la chaleur, la pression et les diverses substances qu'elle tient en dissolution, produira des décompositions très-variées et très-complexes sur les matières organiques qui sont à l'intérieur de la terre. Sous l'influence des divers agents auxquels elles sont soumises, ces matières subiront des décompositions et prendront en définitive l'état le plus stable à l'égard de ces agents.

Les matières organiques, soit qu'elles forment entièrement une roche comme cela a lieu pour les combustibles, soit qu'elles s'y trouvent en quantité plus ou moins grande, sont donc sujettes au métamorphisme. Elles se laissent même modifier et décomposer beaucoup plus facilement que les matières inorganiques. Les effets du métamorphisme sur les matières organiques peuvent, d'ailleurs, s'apprécier aisément; il suffit pour cela de comparer la proportion de ces matières dans une roche avant et après le métamorphisme. Si l'on considère l'azote en particulier, il a été déterminé dans les roches métamorphiques les mieux caractérisées, telles que le marbre statuaire, la predazzite, le calcaire devenu cristallin au contact des filons, le quartzite, le grès vitrifié par le basalte, le schiste ardoisier et mâclifère, les schistes cristallins, talqueux, chlorités et amphiboliques, le micachiste, le gneiss, le graphite. Or l'expérience a montré que ces roches métamorphiques ne contiennent pas ou presque pas d'azote et de matières or-

(1) *Bulletin de la société géologique*. Recherches sur l'origine des roches, 2e série, t. XV, p. 728. 1858.

ganiques; en tous cas, elles en ont beaucoup moins que les roches normales desquelles elles dérivent. Il peut arriver, il est vrai, qu'une roche soit imprégnée de bitume postérieurement à sa formation; mais c'est un cas très-exceptionnel. Le métamorphisme tend donc à diminuer les matières organiques, et quand il est très-énergique, il les détruit même complétement.

§ 99. Temps.

Les agents susceptibles de modifier les matières organiques peuvent être tantôt instantanés, tantôt plus ou moins lents. La chaleur est un agent instantané, mais les effets produits par l'atmosphère et par l'eau sont souvent très-faibles; en sorte qu'il est nécessaire aussi de tenir compte du temps.

Lorsqu'on compare des corps organisés appartenant à une même espèce, leur azote diminue généralement à mesure qu'on descend dans la série des terrains; par conséquent, toutes choses égales, les substances minérales ont d'autant moins d'azote et de matières organiques solubles ou volatiles qu'elles appartiennent à une époque géologique plus ancienne. On le constate facilement pour les os et pour les végétaux fossiles.

Il faut observer cependant que la proportion des matières organiques ne dépend pas seulement du temps; elle dépend aussi de la nature des matières organiques et des roches qui les renferment, ainsi que des modifications spéciales que ces dernières ont éprouvées.

§ 100. La résistance des matières organiques à la destruction est très-inégale.

Les corps organisés présentent surtout une résistance très-inégale à la destruction. A la surface du sol, ils disparaissent assez promptement par l'action de l'atmosphère, et leurs débris contribuent à former la terre végétale. Lorsqu'ils sont enfouis et fossilisés, leurs parties molles, comme les chairs et les feuilles, ne tardent pas à se détruire; tandis que les parties

dures, comme les os et le bois qui constituent leur squelette, subissent des transformations qui s'opèrent le plus souvent avec une extrême lenteur. En tout cas, les animaux résistent beaucoup moins bien à la destruction que les végétaux ; et au-dessous du terrain diluvien, les os fossiles contiennent moins d'azote que les combustibles minéraux. Les végétaux, étant très-riches en carbone, jouissent par cela même d'une grande inaltérabilité. De même lorsque certaines parties des animaux résistent très-bien à la fossilisation, comme l'encre des céphalopodes, elles sont généralement très-riches en carbone.

§ 101. L'azote est éliminé rapidement et en plus grande proportion que le carbone.

Si la stabilité des matières organiques semble augmentée par le carbone, elle est au contraire diminuée par l'azote. Il est facile de le constater pour les matières organiques animales qui contiennent une proportion notable d'azote, car leur destruction est généralement très-rapide.

D'un autre côté, on peut observer que la plupart des minéraux organiques sont des carbures d'hydrogène ; ceux qui renferment de l'oxygène sont peu nombreux, et ceux qui renferment de l'azote le sont encore moins. Généralement ils ne contiennent que peu ou point d'azote et ils sont au contraire riches en carbone. Or ces minéraux, par cela même qu'ils se trouvent à l'intérieur de la terre, présentent relativement à la fossilisation une très-grande stabilité.

La faible stabilité des matières fortement azotées explique d'ailleurs comment les roches stratifiées contiennent moins d'azote quand elles sont formées d'animaux que lorsqu'elles le sont de végétaux. Et en effet, les schistes fossilifères du lias, les schistes à trilobites et à graptolithes du terrain silurien, la craie composée de foraminifères, le tripoli dans lequel on ne distingue

que des carapaces d'infusoires, renferment généralement beaucoup moins d'azote, non-seulement que la tourbe et le lignite, mais même que la houille et que l'anthracite.

L'azote des animaux et des végétaux fossiles est éliminé très-rapidement des parties molles, plus lentement des parties dures, comme les os et le bois, qui composent leur squelette. Il est éliminé plus rapidement dans les animaux que dans les végétaux, et en outre en plus grande proportion que le carbone.

Si l'azote disparaît aussi facilement dans la fossilisation, il faut l'attribuer à sa tendance toute spéciale à se changer en ammoniaque et en acide nitrique. Cette transformation, qui rend l'azote assimilable par les végétaux, se produit par l'action de l'atmosphère et, comme l'a montré M. Chevreul, le drainage agit surtout d'une manière efficace en la favorisant. M. Boussingault a particulièrement appelé l'attention sur la formation de l'acide nitrique, et il a fait voir que la nitrification est universelle. Elle peut s'opérer aux dépens de l'atmosphère qui contient elle-même de l'acide nitrique et des matières organiques susceptibles d'en produire par leur oxydation ; elle s'opère surtout aux dépens des matières organiques azotées dont nous avons démontré l'existence dans la plupart des roches. Les conditions, sinon nécessaires, du moins les plus favorables à la nitrification, sont des matières azotées, une roche poreuse, un air humide et renouvelé, un climat chaud. Le mélange d'un carbonate alcalin ou terreux et d'un sel ammoniacal a encore été indiqué. Ces conditions se retrouvent à divers degrés dans les nitrières artificielles ou naturelles, et particulièrement dans les cavernes à ossements des pays chauds comme celles de l'Inde ou du Brésil.

L'azote joue certainement un rôle capital dans la nutrition des végétaux et des animaux. D'après l'harmonie établie dans l'univers, on pouvait donc prévoir qu'il ne devait pas rester fixé dans leurs dépouilles. En effet, l'azote est mis en liberté par la décomposition des animaux ou des végétaux, qu'elle ait lieu à la surface du sol ou dans son intérieur; il reparaît ensuite à l'état d'ammoniaque, d'acide nitrique ou d'acide humique; il se répand soit dans l'atmosphère, soit dans les eaux. D'un autre côté, la nitrification donne lieu à des efflorescences qui le ramènent sans cesse à la surface du sol. La décomposition successive et incessante des êtres organisés qui ont peuplé notre globe aux époques antérieures, transforme en définitive l'azote en produits solubles et le restitue à la circulation. **§ 102. Cycle continu.**

La statique chimique s'établit non-seulement pour l'azote, mais encore pour les autres substances, organiques ou inorganiques, qui sont nécessaires au développement des êtres organisés; elles deviennent de nouveau assimilables par les générations nouvelles; en sorte que, sous l'influence de la vie, elles parcourent un cycle continu (1).

---

(1) J. Dumas. *Traité de chimie*, t. VIII. — Introduction à la statistique des êtres organisés.

TABLEAU II. **CORPS NON ORGANISÉS**

NUMÉROS d'ordre.	NATURE ET GISEMENT.
1	*Graphite* noir, doux au toucher, écailleux, bien pur; contenant 2,2 d'eau; dans le gneiss de Passau.
2	*Graphite* noir, doux au toucher, bien pur, en rognons dans le trapp de Borrowdale, Cumberland.
3	*Chaux fluatée* vert émeraude, transparente, en beaux cristaux; des gîtes métallifères.
4	*Fer oxydulé* grenu, cristallin; associé à du quartz, de l'hornblende et de la chaux carbonatée de l'île Egeroe en Finlande.
5	*Pyrolusite* fibreuse et concrétionnée; de la Romanèche.
6	*Limonite* brune, fibreuse, très-pure, ayant l'eclat métallique; du pays de Siegen.
7	*Limonite* brune ocreuse, compacte, en rognons applatis; d'Oppeln en Silésie.
8	*Quartz* rose (rosen quartz) avec indices de clivage, du granite de Bodenmais en Bavière.
9	*Id.* *Id.* bien transparent; de Sibérie.
10	*Quartz* enfumé, gris noirâtre; en beaux cristaux transparents dans les druses du granite d Pontperé près Alençon.
11	*Calcédoine* gris bleuâtre, veinée, translucide; d'une amygdaloïde dans le mélaphyre d'Oberstein.
12	*Sardoine*, brun jaunâtre, mamelonnée, translucide.
13	*Opale* résineuse, gris blanchâtre, fibreuse et concrétionnée avec veines brunes; en stalactite à l'intérieur du grand Geyser en Irlande.
14	*Opale* grossière, à éclat résineux, blanchâtre avec zones concentriques brunâtres; en rognons dans le calcaire lacustre de Viliers-sur-Marne.
15	*Opale* brun-jaunâtre, jaspée; en filons dans le trachyte de Borfö près Schemnitz en Hongrie.
16	*Opale* résinite blanche, bien translucide, variété dite hydrophane; dans la serpentine de Mussinet près Turin.
17	*Emeraude* cylindroïde et bien transparente, variété vert bleuâtre dite aigue-marine; de Sibérie.
18	*Mica* lépidolite, rose, en petites paillettes entre croisées; de la Saxe.
19	*Mica* transparent, blanc argenté avec taches brunâtres; en belles lames striées ayant plus de $0^m.1$ de largeur; de New-York.
20	*Orthose* blanc disséminé en gros cristaux dans un filon de porphyre; du Couchetat dans les Vosges.
21	*Topaze* dite brûlée, jaune rougeâtre, bien transparente; employée comme pierre précieuse du Brésil.
22	*Disthène* blanc bleuâtre en grandes lames; des roches métamorphiques de Pontivy.
23	*Talc* ollaire verdâtre, contenant du fer carbonaté; de Chiavenna.
24	*Ecume de mer*, variété gris violâtre, compacte, argileuse, employée comme savon; du Maroc
25	*Baryte sulfatée* blanche, spathique, transparente; d'un filon métallifère du val Saint-Amarin
26	*Alunite* gris blanchâtre, bréchiforme; du ravin de la Craie dans les roches trachytiques, au Pic de Sancy.
27	*Spath d'Islande*, pur et bien transparent, en amas dans les roches volcaniques de l'Islande.
28	*Calcaire* travertin, brun jaunatre, léger et celluleux; déposé sur le granite par les sources incrustantes de Saint-Nectaire.
29	*Chaux carbonatée* jaunâtre, concrétionnée; en stalactites dans les carrières de gypse de Montmartre.
30	*Calcaire* en stalactites, se formant actuellement dans les anciennes carrières sous la rue Notre Dame-des-Champs, à Paris.
31	*Dolomie* cristalline, brun jaunâtre; en couches dans le Muschelkalk supérieur, à Oberbronn, Bas-Rhin.
32	*Fer carbonaté* spathique, brun jaunâtre; des gîtes métallifères de Gomor en Hongrie.
33	*Smithsonite* grise, translucide, concrétionnée; du gîte de Calamine de Corphalie.
34	*Succin* jaune brunâtre, bien transparent; de l'argile plastique d'Auteuil.
35	*Mellite* jaune pâle, bien cristallisée, dans la houille de Malovka en Russie.
36	*Ozokérite* vert jaunâtre, à éclat cireux, répandant une odeur très-forte; de Moldavie?
37	*Elatérite* brun noirâtre du Derbyshire (HENRY).
38	*Bitume* natif, noir brunâtre, à cassure terreuse, mélangé d'un tiers d'argile; du lac de Poix à la Trinité.

(1) *Nota.*—Une distillation acide ou alcaline est indiquée par le signe + mis dans la colonne correspon-

…NÉRAUX.

Distillation (1) Acide.	Alcalin.	Observations sur la distillation.
	+	Très-peu alcaline.
	+*	Très-alcaline. Odeur empyreumatique.
+	+	D'abord alc., puis acide. Cette chaux fluatée décrépite et devient phospho.
	+	Peu alcaline.
+		Légèrement acide.
	+	Peu alcaline. Ce quartz décrépite légèrement.
»	»	Presque neutre.
	+	Alcaline. Odeur empyreumatique. Ce quartz devient blanc et opaque.
	+	Très-peu alcaline.
	+	Très-peu alcaline. La sardoine décrépite; sa couleur ne disparaît pas.
	+*	Très-alcaline.
	+	Peu alcaline. Cette opale décrépite.
+		Neutre ou très-légèrement acide; odeur empyreumatique.
+		Odeur empyreumatique.
	+	Peu alc. Odeur empyr. Cette émeraude déc. et se décolore en grande partie.
+	+	D'abord acide, puis alcaline, mais faiblement.
+	+	D'abord alcaline, puis acide en chauffant fortement.
	+*	Très-alcaline.
+		Dégagement d'une matière bitumineuse brun-rougeâtre.
	+	Alcaline. Odeur empyreumatique.
»	»	Presque neutre.
	+	Très-peu alc. et seulement en chauffant fortement. Cette bar. sulf. décrépite.
+*		Fortement acide; dégagement d'hydrogène sulfuré et d'acide sulfureux; dépôt de soufre, odeur empyreumatique.
+*	+	Fortement acide, puis un peu alcaline.
	+	Peu alcaline.
	+*	Très-alcaline.
	+*	Très-alcaline. Cette dolomie devient grisâtre. Odeur empyreumatique.
+	+	D'abord très-peu alc., puis acide. Le fer carb. déc. et dégage son ac. carb.
+	+	D'abord très-peu alcaline, puis acide. Petite couronne de zinc métallique qui se dépose dans le tube. Dégagement d'acide carbonique.
		Dégagement extrêmement abondant de gaz combustible très-éclairant.
+		Dégagement d'huile de naphte.
+*	+*	D'abord très-acide, puis très-alcaline. Dégagement d'hydrogène sulfuré, de sulfure de carbone, de naphte, de bitume, d'ammoniaque.

…e; un astérisque est placé à la suite de ce signe, lorsque la distillation est très-acide ou très-alcaline +*.

Numéros d'ordre.	NATURE ET GISEMENT.
	ROCHES PLUTONIQUES.
1	*Granite* blanc, feldspathique, pauvre en micas; de Vologne en Vosges.
2	*Granite* décomposé et changé en arène jaunâtre de Saint-Franchy.
3	*Granite* fortement décomposé et changé en arène rougeâtre, d'Alençon.
4	*Kaolin* blanc, farineux, mêlé de quartz gris et de mica argenté; il résulte de la décomposition du granite, à Maupertuis près Alençon.
5	*Porphyre* quartzifère à pâte grisâtre avec cristaux d'orthose et mica vert, de la forêt de Perseigne
6	*Porphyre* quartzifère décomposé, brunâtre, argileux; à l'état normal on y distingue du quartz de l'orthose, de l'hornblende, du mica; de Saint-Franchy
7	*Ménette* gris noirâtre, riche en mica et bien caractérisée; Wakenback dans les Vosges.
8	*Diorite* schistoïde, vert noirâtre, très-amphibolique et un peu micacée; du Faing Thierry, Vosges.
9	*Mélaphyre* vert antique, porphyrique, d'un beau vert, avec quelques grains d'augite; des Crocées, Laconie.
10	*Mélaphyre* vert noirâtre avec grands cristaux de labrador verdâtre et un peu d'augite, de Belfahy, Vosges.
11	*Euphotide* avec feldspath gras et grands cristaux de diallage; du mont Genèvre.
12	*Variolite* globuleuse à pâte verte et à globules violâtres; de la Durance.
13	*Serpentine* vert noirâtre veinée de rouge, exploitée comme marbre; du Goujot, Vosges.
	ROCHES VOLCANIQUES.
14	*Dômite*, friable, pulvérulent, avec orthose vitreux et mica brun tombac; du Puy-de-Dôme.
15	*Phonolite* gris verdâtre, compacte, avec orthose, hornblende et sphène de la Roche Sanadoire.
16	*Rétinite* vert olive, porphyrique, avec orthose blanc vitreux; en filon près des Chazes, Cantal.
17	*Rétinite* brun rougeâtre; de Korbitz, Saxe.
18	*Rétinite* noir, à odeur de truffe, contenant des cristaux blancs d'orthose vitreux; en amas dans le grès rouge de Glen Cloy, île d'Arran.
19	*Rétinite* noir foncé, magnétipolaire; à éclat très-résineux; de Grantola, Lac Majeur.
20	*Obsidienne* noire avec globules opaques et grisâtres; de l'Oyamel, Mexique
21	*Obsidienne* noire, vitreuse, très-légèrement bulleuse; de l'île Vulcano.
22	*Obsidienne* noire, très-vitreuse; de l'Islande.
23	*Lave* gris noirâtre, avec anorthose et augite, celluleuse et exploitée pour meules; du milieu de la coulée de Niedermenig.
24	*Lave* noire, très-scoriacée, prise avec un fer à l'intérieur de la coulée et portant la date de 1832; Torre del Greco, Vésuve.
25	*Lave* celluleuse, très-riche en péridot avec un peu de feldspath; de la coulée inférieure de 1839, au rempart du Bois blanc, île de la Réunion.
26	*Basalte* noirâtre, très-bulleux et scoriacé: du piton de la roche Rouge, Haute-Loire.
27	*Basalte* noir, compacte, avec péridot et augite, contenant 0,70 d'eau; en long prismes cannelés ayant $0^{m}.30$ de largeur.
28	*Trapp* avec anorthose, mica et amandes de chaux carbonatée; en nappes à la base du silurien supérieur, près Beraun.
29	*Trapp* feldspathique avec chaux carbonatée; en dyke dans le terrain houiller de Bolam, Durham.
30	*Trapp* vert noirâtre, prismatique, un peu celluleux, à éclat légèrement résineux; du Lough Neah en Irlande.
31	*Trapp* entièrement décomposé, passant à une argile ocreuse, en nappes, à la chaussée des Géants.
32	*Trapp* se décomposant en sphéroïdes; formant filon dans la craie près de Portrush, Irlande.
33	*Trapp* celluleux avec péridot, dont les cavités sont tapissées par une matière noirâtre et charbonneuse; de la chaussée des Géants.
34	*Météorite* gris noirâtre, silicatée, avec fer métallique et pyrite de fer.

NON STRATIFIÉES.

AZOTE en millièmes.	DISTILLATION Acide.	DISTILLATION Alcaline.	OBSERVATIONS SUR LA DISTILLATION.
0,15		+	
0,04			
0,03			
0,03		+	Peu alcaline. Le kaolin devient grisâtre.
0,17		+	Peu alcaline. Odeur empyreumatique.
0,12			
0,18			
0,03		+	Très-peu alcaline.
0,05		+	Peu alcaline.
0,06		+	Peu alcaline. Odeur empyreumatique.
0,10		+	Alcaline.
0,27		+*	Très-alcaline.
0,11		+	Alcaline. Odeur empyreumatique piquante.
0,15		+	Alcaline. Odeur empyreumatique.
0,04		+	
0,06	+		Acide.
0,16		+	Alcaline. Odeur empyreumatique.
0,16		+	*Id.*
0,18		+*	Très-alcaline. Odeur empyreumatique.
0,04		+	Très-peu alcaline.
0,11		+	Très-peu alcaline.
0,15		+	Peu alcaline. Odeur empyreumatique.
0,01		+	Alcaline.
0,12		+	Alcaline.
0,14		+*	Très-alcaline.
0,07		+	Alcaline.
0.30		+	Alcaline.
0,03		+	Très-peu alcaline.
0,11			
0,12			
0,15			
0,15			
0,43		+*	Très-alcaline. Odeur empyreumatique.
0,05		+	Alcaline. Odeur empyreumatique prononcée.

C

GISEME

AUX

ns et pr
e terrain
tombelle
du terrai
1,234
Bas-Rhi
lignite
tertiai
exposi
elu à l
e 1,4
bou
keu

COI

GISEMENT.	'ATIONS SUR LA DISTILLATION.
AUX.	›u alcaline est indiquée par le signe + mis dans la colonne ıt placé au-dessus de ce signe, lorsque la distillation est - Les substances en regard desquelles aucune observation umises à la distillation dans le tube d'essai.
. . . .	
. . . .	ıstille beaucoup d'ammoniaque et une huile brun rougeâtre.
ns et provient d	
e terrain de tran	
tombelles Helv	
. . . .	
. . . .	
lu terrain tertia	ıse.
. . . .	
. . . .	
= 1,234 ; il a été	
Bas-Rhin. . . .	neuse brune.
lignite tertiaire	
tertiaire de Brü	
exposition à l'air	
elu à la base du	
le 1,477 ; de l'île	
bourg.	
. . . .	nt alcaline. Huile bitumineuse brune.
. . . .	
. . . .	
. . . .	
. . . .	
. . . .	
. . . .	
keupérien de Gr	e. Cette houille décrépite légèrement.
. . . .	
. . . .	
. . . .	
. . . .	
u terrain houil	phte ; gaz de qualité supérieure pour l'éclairage.
uses; du terrai	deur très-désagréable.
. . . .	

E ET

. . . . .
oisset p
ypse t
Petit S
Woodb
. . . . .
. . . .
organ.,
. . . .
. . .
. . . .
. . . .
RE). .
. . . . .
très-ri
Santar
que n
. . .

2,587
. . .
. . .
. . .
; de
arbo
. . .
. . .
. .
. .
. .
. .
. .
nn
se
Si
r

E ET

. . . . . .
oisset prè
ypse terti
Petit Sain
Woodburn
. . . . . .
. . . . . .
organ., av
). . . . .
. . . . . .
. . . . . .
. . . . . .
RRE). . . .
. . . . . .
très-riche
Santarem
ique meri
. . . . . .

2,587 ; de
. . . . . .
. . . . . .
. . . . . .
; de la p
arbonique
. . . . . .
. . . . . .
. . . . . .
. . . . . .
. . . . . .
. . . . . .
. . . . . .
mmune ou
sements h
. . . . . .
Si mangen
. . . . . .
couvrant
re d'un g

OBSERVATIONS SUR LA DISTILLATION.

fre. Cette chaux phosphatée noircit, décrépite et donne une odeur

ine.

es roches stratifiées de l'époque actuelle contiennent générale-
assez grande de matières organiques azotées, en sorte que leur
ent alcaline.

DE LA MÉTALLURGIE DU PLATINE

ET DES MÉTAUX QUI L'ACCOMPAGNENT.

Par M. H. SAINTE-CLAIRE DEVILLE ET H. DEBRAY.

(SUITE) (1).

CHAPITRE III.

IRIDIUM.

La matière première employée dans les recherches qui vont être exposées nous a été envoyée par le gouvernement russe sous le nom d'*oxyde d'iridium*. Ce n'est pas un produit pur; mais c'est, il paraît, une matière dont on peut se procurer d'assez grandes quantités à la Monnaie de Saint-Pétersbourg, et dont il était naturel de chercher les applications. Nous ne pensons pas que l'iridium puisse être employé aujourd'hui à un meilleur usage qu'à la fabrication de ces alliages si précieux de platine que nous avons proposés et qui commencent à s'introduire dans le commerce. C'est pour atteindre ce but que nous avons institué la série d'expériences dont nous allons donner la description. Matière première.

1° *Essai et analyse de l'iridium brut.* — Cet oxyde d'iridium est une poudre noire tachant les doigts : le platine qui s'y trouve paraît être à l'état métallique et posséder une densité plus grande que le reste de la masse, car la composition de la matière brute ne nous a pas paru être la même dans toutes les parties de la Eau et oxygène.

(1) Voir la première partie, page 71 de ce volume.

Non homogène. boîte qui la renfermait : les parties inférieures contenaient un peu plus de platine que celles qui étaient à la surface.

1° *Matières volatiles.* — Chauffé dans un creuset de charbon, l'oxyde d'iridium perd de l'eau et de l'oxygène, et peut-être quelque sel ammoniacal. On a désormais une mousse non agrégée, pourvu qu'on n'ait pas chauffé à une température trop élevée.

Sulfate de chaux et sel marin.

2° *Matières solubles.* — L'eau enlève à la matière calcinée des sels solubles parmi lesquels on trouve du sulfate de chaux et beaucoup de sel marin, ce qui fait voir l'origine de cet iridium qui a été obtenu par le procédé de M. Wöhler appliqué aux osmiures. On trouve comme résultat de ces deux opérations :

Matières volatiles.	28
Matières solubles.	12
Matières métalliques.	60
	100

Absence du ruthénium.

3° *Ruthénium.* — Nous avions espéré trouver dans cet iridium brut une mine du ruthénium, ce qui aurait été pour nous bien précieux (1). Aussi avons-nous, dès le premier jour, traité $4^{kil},500$ d'iridium brut par $1^{kil},300$ de nitrate de soude et $2^{kil},500$ de soude caustique en fondant le mélange dans une bouteille à mercure sciée à sa partie supérieure. La liqueur obtenue en reprenant la masse alcaline par l'eau était à peine colorée en

(1) Il faut bien dire que l'histoire de ce métal peut être considérée comme complète par suite des admirables travaux de M. Claus, à qui l'on doit, selon nous, en outre d'une découverte très-difficile à faire, la plus belle monographie qu'on ait publiée sur un métal nouveau. Nous-mêmes nous avons pu ajouter quelques observations sur les propriétés du ruthénium fondu ; mais nous aurions désiré indiquer l'emploi qu'on pourrait lui donner, si, ce qui n'est pas impossible, on en trouvait un minerai plus abondant que l'osmiure d'iridium.

jaune, et, en la saturant avec de l'acide nitrique, nous n'avons obtenu que quelques flocons de silice colorée en vert par des traces de chrome et peut-être de ruthénium. L'odeur de l'acide osmique, par exemple, était manifeste et démontrait la présence d'une petite quantité d'osmium dans l'iridium brut.

Dissolution du platine.

4° *Iridium.* — L'iridium brut, calciné au rouge dans un creuset de charbon de cornue et lavée à l'eau, peut être entièrement dépouillé de platine par une longue digestion dans l'eau régale. Le résidu métallique peut être considéré comme de l'iridium à peu près pur, si on le calcine à une température extrêmement élevée dans un creuset de charbon. On le fond au chalumeau et on le pèse.

Sa séparation.

5° *Platine.* — La dissolution traitée par le sel ammoniac ou même l'ammoniaque, tant que la liqueur reste franchement acide, donne un précipité violacé contenant du chloroplatinate et du chloriridiate d'ammoniaque. On calcine ce précipité et on traite la mousse qu'on obtient par l'eau régale faible qui ne dissout que le platine, et celui-ci est précipité et pesé après la calcination à l'état de mousse. L'iridium qui reste est calciné et son poids est ajouté à celui qu'on a déjà déterminé dans la précédente opération.

Métaux restants.

6° *Palladium, rhodium et métaux communs.* — Ces métaux sont obtenus par différence. On peut d'ailleurs les déterminer dans une opération spéciale, qui sera décrite plus loin. On arrive ainsi aux nombres suivants :

Matières volatiles	28,0
Matières solubles	12,0
Platine	3,8
Iridium	47,5
Palladium, rhodium et métaux communs	8,7
	100,0

Voie sèche.

On peut déterminer le platine par une méthode un peu différente et que nous ne recommandons pas, mais qui est intéressante par les produits qu'elle donne.

On prend :

Iridium brut	100
Plomb	100
Litharge	500

On mélange bien et on fond rapidement dans un creuset : il se dégage d'abondantes fumées de chlorure de plomb et on obtient un culot de plomb iridifère pesant 179 grammes et une scorie à la surface de laquelle se rassemblent des gouttelettes de chlorures et de sulfates alcalins fondus.

Le culot de plomb est coupellé, il donne :

Une poudre cristalline noire qui est de l'iridiate de plomb avec un peu d'oxyde de rhodium, et de petites masses métalliques brillantes qui sont du platine presque pur qu'on dissout dans l'eau régale et qu'on précipite par le sel ammoniac. On obtient ainsi :

Platine	3,7
Substances diverses	96,3
	100,0

Dans la liqueur platinifère on retrouve 1 pour 100 environ de rhodium et un millième de palladium.

Fusion avec la litharge.

7° *Palladium.* — Mais la meilleure manière de séparer ces métaux consiste dans l'emploi d'une troisième méthode que nous avons appliquée sur une grande quantité de matière. Nous avons pris :

	gr.
Iridium brut	1,500
Litharge	4,000
Sable	1,000
Charbon	0,168

Nous avons fondu le mélange intime de ces sub-

stances dans l'appareil aux deux creusets de la *fig.*. 8 (Pl. III), nous avons obtenu $2^{kil},750$ de plomb iridifère.

Ce plomb, concassé en petits fragments, a été traité par l'acide nitrique étendu de son poids d'eau et bouillant jusqu'à ce que tout le plomb fût dissous. La liqueur nitrique contient : Dissolution du culot.

Nitrate de plomb,
Nitrate de palladium,
Nitrate de rhodium,
Nitrate de cuivre.

On a séparé la plus grande partie du nitrate de plomb par évaporation et cristallisation, en lavant les cristaux séparés avec un peu d'eau distillée froide. Dans la liqueur fortement colorée en jaune on a mis de l'acide sulfurique en quantité un peu plus que suffisante pour la précipitation du plomb qu'on a séparé par le filtre, et on a évaporé à sec, ce qui a permis d'enlever encore du sulfate de plomb. Il restait des sulfates acides de palladium, de rhodium et de cuivre, qu'on a traités par du cyanure de mercure, ce qui a donné du cyanure de palladium qu'on a calciné et pesé. La liqueur, séparée et évaporée presque à sec, a laissé déposer un sel mercuriel blanc contenant de l'acide sulfurique (ou sulfureux), du mercure, du rhodium et du palladium. Par la calcination, les éléments volatils ont disparu et il est resté un mélange des deux métaux qu'on a pesés, puis séparés l'un de l'autre au moyen de l'eau régale qui n'a dissous que le palladium. Séparation du palladium.

8° *Rhodium.* — Le résidu du traitement par l'acide nitrique a été mis en digestion avec de l'eau régale, qui a dissous de l'iridium, du platine et du rhodium, lesquels ont été séparés par les procédés décrits dans notre premier Mémoire (t. XVI, p. 445). Il faut éviter Métaux restants.

ici une cause d'erreur provenant de ce que l'eau régale dissout du plomb que les lavages n'enlèvent jamais entièrement à la masse métallique et spongieuse qui est imprégnée de nitrate de plomb.

Résumé. 9° *Fer et cuivre.* — On a dosé ces deux métaux dans le résidu de l'attaque (pour ruthénium) de l'oxyde d'iridium brut par le nitre et la potasse caustique au creuset d'argent. Cette dernière opération, combinée à la première, a donné les résultats suivants :

Matières volatiles......	28,0
Matières solubles......	12,0
Platine............	3,8
Rhodium..........	1,8
Palladium..........	0,4
Cuivre............	0,6
Fer..............	0,7
Iridium et perte......	52,7
	100,0

Autre méthode. Si l'on voulait faire l'analyse complète de cette substance (à composition variable), il faudrait, après en avoir séparé les matières solubles et volatiles, la traiter par le nitrate de baryte et le bioxyde de baryum, par les procédés que nous avons indiqués dans notre premier Mémoire (t. XVI, p. 98). Mais de simples essais qui sont aussi expéditifs que le permet la complication de ces mélanges suffisent pour les opérations techniques qu'ils sont destinés à faciliter, et pour la fabrication des alliages; car il importe seulement de connaître la proportion d'iridium et de platine qu'on y introduira en employant directement l'iridium brut.

Fusion avec le plomb. II° *Coupellation de l'iridium et du rhodium.* — Nous croyons utile, avant de passer au traitement de l'iridium brut, d'exposer ici quelques faits curieux que nous avons observés en essayant d'appliquer la coupel-

lation à la purification de l'iridium et du rhodium et à la séparation des métaux communs qu'ils peuvent contenir : nous désirons aussi rendre compte de ce qui se passe pendant la coupellation de l'alliage ternaire de platine, d'iridium et de rhodium qu'on obtient en traitant le minerai de platine ou platine brut par la galène. Nous avons donc allié successivement l'iridium et le rhodium avec du plomb, et nous les avons coupellés séparément : pour l'iridium nous avons fondu ensemble :

Iridium pur.	5 grammes.
Litharge.	100
Charbon.	2

On a obtenu un culot de plomb, qu'on a coupellé au rouge presque blanc. Il s'est formé une poudre cristallisée, brillante, qui se détache de la coupelle avec la plus grande facilité et qui a été analysée de la manière suivante après avoir été lavée à l'acide acétique fort. Iridiate de plomb.

La matière a été chauffée dans l'hydrogène, où elle a pris feu en devenant métallique et en fournissant de l'eau. Traitée par l'acide nitrique, elle lui a abandonné du plomb qui s'est oxydé en donnant des vapeurs nitreuses; puis on a calciné l'iridium à l'air, et on l'a de nouveau traité par l'hydrogène, ce qui a encore donné lieu à une petite perte et permis d'enlever un peu de plomb par l'acide nitrique. On a évaporé le nitrate de plomb dans un creuset de platine où l'on avait mis d'abord un peu d'acide sulfurique, et on a pesé le sulfate de plomb dépouillé d'un excès d'acide sulfurique par la calcination; puis on a pesé l'iridium après l'avoir chauffé dans l'hydrogène et s'être assuré qu'il ne perdait plus rien. Nous sommes arrivés par cette méthode aux nombres suivants : Son analyse.

Iridium	725 milligr.
Plomb	752
Oxygène	176
	1.653

et en supposant l'oxyde de plomb à l'état de protoxyde, on a :

	Observé.		Calculé.
Bioxyde d'iridium	50,3	IrO^2	50,7
Oxyde de plomb	49,0	PbO	49,3
	99,3		100,0

C'est, nous croyons, la seule combinaison bien déterminée par la cristallisation et une composition simple que l'on ait pu former entre l'oxyde d'iridium et une base. Nous avons analysé également l'iridiate de potasse ; mais sa composition nous a paru jusqu'ici assez peu constante.

L'iridiate de plomb n'est pas attaqué par l'acide nitrique concentré. Chauffé au grand feu du chalumeau à gaz oxygène et hydrogène, il se décompose en oxyde de plomb qui se volatise, et en iridium métallique qui se réduit et fond.

Oxyde d'iridium des coupellations. Du rhodium que nous avions extrait de l'oxyde d'iridium brut a été fondu dans un petit creuset avec de la litharge, du borax et du plomb : l'alliage coupellé au rouge blanc et *rôti* s'est transformé en une poudre cristalline qu'on a détachée de la coupelle et qui a été traitée par l'acide nitrique. Cette matière, chauffée dans un courant d'hydrogène, s'est réduite avec dégagement de lumière, et la perte de poids qu'elle a subie a donné l'oxygène qu'elle contenait. Dans l'acide nitrique le métal n'a laissé se dissoudre qu'une petite quantité de plomb dosé à l'état de sulfate après évaporation du nitrate de plomb, et quelques milligrammes de rhodium qui ont été recueillis et pesés. Le rhodium, après avoir

été chauffé de nouveau dans l'hydrogène, a été dosé à l'état métallique. On a obtenu ainsi :

Rhodium.	1.408 milligr.
Plomb.	35
Oxygène.	208
	1.651

En considérant comme accidentelle la présence de cette petite quantité d'oxyde de plomb, on a

	Observé.		Calculé.
Rhodium.	87,3	Rh.	86,9
Oxygène.	12,7	O.	13,1
	100,0		100,0

C'est du protoxyde de rhodium.

Ainsi la coupellation d'un alliage de platine, de rhodium et d'iridium donne : Résumé.

Platine plombifère.	
Iridiate de plomb.	IrO^2PbO.
Oxyde de rhodium.	RhO.

Le platine métallique reste à l'état d'alliage compacte contenant 5 à 8 p. 100 de plomb. Les deux autres métaux sont à l'état de poudre cristalline qui peut être séparée mécaniquement du platine avec la plus grande facilité. C'est à cause de cette différence curieuse entre les produits de la coupellation de ces trois métaux que nous avons pu préparer du platine pur par voie sèche, mais pas en assez grande quantité pour que nous puissions encore décrire sûrement et avec détail les procédés, très-simples et très-faciles à trouver, qui sont fondés sur les propriétés que nous venons d'étudier. D'ailleurs il faut se rappeler que, tant qu'il y a du plomb dans la coupelle, l'iridiate de plomb et l'oxyde de rhodium ne peuvent se former en présence de ce métal plus oxydable. Ce n'est donc que pendant l'opération du rôtis-

sage, et quand les dernières portions de plomb disparaissent, qu'on voit la transformation s'effectuer sur la coupelle.

Osmiure d'iridium.

III° *Préparation économique de l'iridium métallique.* — Nous ne reviendrons pas sur les procédés de grillage et de fusion qui nous ont servi à transformer l'osmiure d'iridium en iridium pur, susceptible d'être allié au platine. On trouvera ces détails dans notre premier mémoire (*Annales des mines*, 5° série, tome XVI, p. 128). Nous décrirons seulement la méthode qui nous a servi à purifier l'iridium brut de la Monnaie de Russie. Elle peut également servir de méthode d'essai pour ces matières.

Expulsion des sels et métaux communs.

On calcine au rouge l'iridium brut dans un creuset de charbon ; l'oxyde se réduit, le métal prend de la compacité ; on le lave à l'eau bouillante, on sèche la poudre, et on l'arrose d'acide sulfurique concentré qu'on fait chauffer jusqu'à son point d'ébullition : les sels solubles, le fer et le cuivre disparaissent dans ces deux opérations. Si l'on a déterminé d'avance la proportion de platine que contient le métal et qu'on veuille l'y laisser, il ne reste plus, après avoir lavé l'iridium, qu'à le chauffer au blanc soudant pour l'agglomérer fortement et permettre de l'introduire sans perte dans le four à chaux où on le fond avec les précautions qui vont être indiquées. Si, au contraire, on veut déterminer le platine ou l'extraire pour avoir de l'iridium pur, on traite la poudre métallique qu'on vient de laver à l'acide sulfurique par l'eau régale qui dissout le platine, et un peu d'iridium.

Les deux métaux se séparent l'un de l'autre dans la dissolution par les procédés déjà décrits. On en retirera encore un peu de rhodium, qu'on sait également isoler par les moyens décrits dans notre premier Mé-

moire (*loco citato*, p. 72). Il est vrai qu'il en restera également des traces dans la matière métallique qui a résisté à l'action de l'eau régale ; si on veut l'en extraire, il faudra, avant de traiter l'iridium par l'eau régale, le faire digérer au rouge sombre pendant très-longtemps avec du bisulfate de potasse fondu, jusqu'à ce que ce réactif cesse de se colorer, ce qui est fort long et d'ailleurs fort inutile au point de vue des emplois qu'on doit faire de l'iridium dans la préparation des alliages industriels de platine.

En traitant ainsi l'iridium brut de la Monnaie de Russie, on obtient les résultats suivants : Résumé.

Matières volatiles	28,0
Matières solubles	12,0
Oxyde de fer, de cuivre, et palladium	1,7
Rhodium	1,8
Platine	3,8
Iridium et pertes	52,7
	100,0

On calcine fortement cet iridium avant de le fondre pour l'agglomérer.

IV° *Fusion de l'iridium pur.* — C'est dans la chaux et au moyen d'un chalumeau à gaz hydrogène et oxygène, qu'il faut fondre l'iridium pur préalablement agrégé par la chaleur. Nous avons déjà décrit cette opération (*Annales des mines*, 5e série, tome XVI, p. 52) ; nous n'y reviendrons que pour parler d'une expérience vraiment curieuse que nous avons faite, et dans laquelle nous avons réussi à fondre et couler en lingotière une masse de 1805 grammes du métal qui est, après l'osmium et le ruthénium, le plus réfractaire que nous connaissions.

Nous avons employé un petit four en chaux de 8 à 10 centimètres de diamètre, monté sur la plate-forme Four.

mobile de la *fig.* 5 (Pl. III) du présent Mémoire. Cette plate-forme est supportée par deux tourillons mobiles autour d'un axe dont le prolongement passe par le trou de coulée du four en chaux, comme on le voit dans la *fig.* 9 (Pl. I du tome XVI des *Annales des mines*). L'hydrogène était produit dans un appareil de Richemond contenant 150 kilogrammes de zinc en grosses barres, et constamment refroidi à l'extérieur. L'oxygène fourni par les gazomètres dont nous allons parler s'écoulait avec une vitesse de 1000 à 1200 litres à l'heure; et la hauteur du chalumeau au-dessus de la sole avait été réglée par une expérience préliminaire, de façon que le maximum de la chaleur tombât bien sur le centre du bain métallique. La lingotière était un parallélipipède creux en chaux, dont la cavité avait 2 centimètres dans sa petite dimension. Elle était formée avec deux plaques carrées de 12 centimètres de côté et de 3 centimètres d'épaisseur, maintenues latéralement par deux petits prismes à base carrée de 2 centimètres de base et de 12 centimètres de hauteur. Le fond était formé d'un prisme de chaux taillée de manière à le clore entièrement. Cette lingotière, enfermée dans deux lames de tôle mince représentées à la *fig.* 2 (Pl. IV) du présent Mémoire, était en outre fortement serrée par des fils de fer qui empêchaient ses diverses parties de se désunir. Elle était maintenue au-devant du trou de coulée par deux aides qui la portaient au moyen d'un barreau de fer assez long, au milieu duquel elle était attachée par un gros fil de fer. Quand la fusion de l'iridium a été complète, on a versé le métal dans la lingotière; celle-ci a été remplie, et le métal, pénétrant dans toutes ses parties, s'est moulé sur toutes ses parois avec tant de perfection, qu'on a pu retrouver à la surface du lingot la reproduction parfaite des coups de

Hydrogène et oxygène.

Coulée.

Lingotière.

lime et des traits de scie dont la chaux était sillonnée.

C'est le plus beau spectacle que l'on puisse voir, que ce ruisseau de feu tellement ardent, que, pour l'opérateur le plus exercé, il y a une impossibilité presque complète de distinguer en même temps le métal et la lingotière. C'est pour cela que nous avons rendu immobile pendant la sortie du métal la position du trou de coulée du four en chaux. Cette circonstance enlève tout danger à des opérations auxquelles d'ailleurs on n'assiste pas pour la première fois sans éprouver des appréhensions, peu fondées il est vrai, mais bien naturelles, à la vue de ces masses éblouissantes. Nous devons dire que nous-mêmes et les personnes nombreuses qui nous ont aidés, nous n'avons jamais subi le moindre accident ni couru le moindre danger, après avoir fondu et coulé depuis plusieurs années, dans un très-grand nombre de circonstances diverses, des quantités de platine ou d'iridium dont la somme dépasse certainement 200 kilogrammes.

La quantité d'oxygène nécessaire pour fondre 1 kilogramme d'iridium peut être évaluée à 200 ou 300 litres au plus; mais il faut employer l'hydrogène pur et non le gaz de l'éclairage.

A ces températures, la chaux de nos fours acquiert aux endroits les plus violemment chauffés une compacité telle, qu'on ne peut méconnaître un commencement de fusion : il est vrai que la chaux grasse elle-même dont nous nous servons contient toujours de petites quantités de silice.

CHAPITRE IV.

TRAITEMENT DU PLATINE DES ANCIENNES MONNAIES RUSSES.

Matériaux. Nous avons reçu 1 poud ou 16 kilogrammes environ de roubles laminés. Le métal sali par le laminoir et chauffé au rouge paraît aigre et se sépare souvent en feuillets qui indiquent une grande imperfection dans le mode de fabrication de ce platine, préparé d'ailleurs depuis fort longtemps et bien avant que l'on eût fait les progrès réalisés actuellement dans le travail de ce métal.

Affinage. I° *Essai et analyse.* — Le seul mode d'essai applicable à ces matières consiste à les fondre avec précaution et à les affiner dans l'oxygène; elles perdent environ 3 p. 100, proportion variable avec l'état de propreté et de pureté de ces pièces de monnaie. Pendant la fusion on constate la production de vapeurs de cuivre et d'osmium dont l'odeur caractéristique ne peut être méconnue.

Composition. L'analyse faite par les procédés déjà décrits donne les résultats suivants :

Platine.	97,00
Iridium.	1,20
Palladium.	0,25
Rhodium.	0,50
Cuivre.	0,40
Fer.	1,55
	100,90

L'aigreur du métal est due à la présence des métaux communs et d'un peu d'osmium qu'il est bien difficile de doser, tant sa proportion est petite dans le mélange.

Matières premières. II° *Fusion et affinage.* — Le seul mode de purification économique qu'il soit convenable d'appliquer à

l'ancienne monnaie de platine est la fusion et l'affinage au chalumeau à gaz oxygène. Cet affinage se faisant d'ailleurs pendant et par la fusion, nous ne parlerons que de cette opération. Les détails que nous allons donner ne seront pas applicables seulement aux monnaies de platine, ils concernent en général les alliages quelconques de platine, et nous allons exposer nos expériences en faisant abstraction de la nature des matériaux qui nous ont servi et qui ont été : 1° la monnaie de platine; 2° le platine retiré du minerai par la fusion directe ou alliage naturel; 3° le platine fabriqué avec le minerai par la méthode de coupellation, fondu et laminé.

Nous ne parlerons également que de la fusion de grandes masses de platine, en renvoyant pour les quantités au-dessous de 8 à 10 kil. à notre premier Mémoire où cette opération est suffisamment détaillée (voyez *Annales des mines*, tome XVI, 5e série, page 420). Fusion.

Nous supposerons dans ce qui va suivre que l'on veuille opérer sur 20 à 25 kil. de platine à fondre et à couler en lingotière. Pour de plus grandes quantités on pourra se servir de ces appareils agrandis ou de deux et même plusieurs fours pareils dont on versera en même temps le contenu dans une seule lingotière, exactement comme on fait pour obtenir de grandes masses d'acier fondu en creusets.

Notre four est elliptique, sa voûte est percée de deux trous qui laissent passer les tubes de deux chalumeaux déjà décrits et de la même grandeur que pour de plus petites opérations. Le bout de ces chalumeaux est percé d'un trou de 2 $\frac{1}{2}$ à 3 millimètres de diamètre.

Le combustible employé est du gaz de l'éclairage de la ville de Paris, dont nous n'avons pas fait l'analyse, Combustible.

mais qui paraît contenir une assez forte proportion de gaz incombustible. L'oxygène provenait de la décomposition du manganèse. Emprunté à deux gazomètres, il avait une composition moyenne de :

Oxygène.

Azote.	7
Oxygène.	93
	100

Le platine était en lames de 20 à 25 centimètres de longueur, de 1 centimètre à 1 centimètre et demi de largeur, de 2 millimètres d'épaisseur environ.

Four : Dimensions.

A. *Construction du four.* — La *fig.* 11 (Pl. I) représente ce four à l'échelle désignée dans la planche ; nous n'aurons besoin de répéter ici que les dimensions principales.

Un cylindre elliptique en tôle forte, fermé à sa partie inférieure par une plaque de tôle munie à sa partie antérieure de deux rainures au moyen desquelles on le fixe avec des boulons à notre appareil à tourillons de la *fig.* 9, de notre premier Mémoire (voyez *Annales des mines*, tome XVI, Pl. I), servait de chemise pour la construction de cette sole. Ce cylindre peut être fermé en AA par des boulons qu'on ne serre que quand l'appareil est monté. On remplit le cylindre de tôle avec des morceaux de chaux taillés avec soin et qui s'ajustent exactement les uns contre les autres. Ces morceaux de chaux doivent avoir d'abord toute la hauteur du cylindre et le dépasser en haut de 2 centimètres environ. Le dernier morceau placé en C au trou de coulée doit en outre faire en avant une saillie de 2 ou 3 centimètres, de manière que le platine puisse couler à une assez grande distance de la chemise de tôle. On serre alors fortement les boulons A et avec une gouge on creuse facilement la sole du four

et le trou de coulée C qui doit en même temps servir à l'introduction du platine à fondre. Ce trou doit avoir 3 centimètres environ de largeur et 1 centimètre de hauteur; il se relie à la sole par un petit rampant qui facilite la sortie du métal fondu.

La voûte est faite également au moyen de morceaux de chaux qu'on encastre solidement dans un cylindre elliptique en tôle de même base base que le premier, mais dont la hauteur est bien plus petite. La chaux doit dépasser en bas de 1 ou 2 centimètres cette ceinture de fer et, quand elle est fixée, on la maintient solidement en serrant les boulons AA placés à l'extrémité du grand axe de l'ellipse. La surface inférieure de ces morceaux de chaux est nivelée en l'usant par frottement doux sur une pierre calcaire plane et saupoudrée de sable fin. On peut, si l'on veut, la creuser légèrement avec une gouge pour augmenter l'espace qui sépare la voûte de la sole. Enfin aux deux foyers de l'ellipse on perce avec une mèche deux trous coniques par lesquels on introduira les extrémités des deux chalumeaux à gaz. L'enveloppe extérieure de ces extrémités, qui est en platine, ne devra pénétrer que d'une petite quantité dans la chaux, et le *bout* du chalumeau devra faire une saillie en avant de cette enveloppe afin que ce platine ne soit pas chauffé. Cependant le *bout* devra être encore contenu dans la chaux de manière à laisser un intervalle qui pourra varier entre 3 ou 4 centimètres, entre son extrémité et l'ouverture du trou sur la voûte. Cette distance est rendue variable au moyen de la vis de pression X.

Voici les dimensions que nous avons adoptées :

Chemise du four.

Grand axe des deux cylindres de tôle......	38 cent.
Petit axe des deux cylindres de tôle	24
Hauteur du cylindre inférieur (de la sole)...	13
Hauteur du cylindre supérieur (de la voûte)..	5
Épaisseur des tôles................	0,2

Intérieur du four en chaux.

Grand axe de la sole creusée dans la chaux...	26
Petit axe de la sole...............	15
Profondeur...................	6,5

Ajustement des parties du four.

B. *Conduite du feu.* — On ajuste l'une sur l'autre bien exactement les deux parties du four qu'on fixe d'une manière invariable au moyen de trois clavettes, l'une en EE, les deux autres en avant et en arrière de l'appareil, tel qu'il est placé dans la *fig.* 11 du présent Mémoire (Pl. III).

Mise en feu et fusion.

On allume alors le gaz des deux chalumeaux, en donnant un peu d'oxygène, et on les introduit avec leurs flammes dans les trous qui leur sont réservés B, B (*fig.* 11). On règle ces flammes avec les robinets R des chalumeaux, et la hauteur des bouts du chalumeau avec les vis de pression X, X. On chauffe lentement l'intérieur du four en donnant progressivement accès aux deux gaz, et, quand la chaleur étant maximum, le platine se maintient en fusion sous les dards, on forme peu à peu un bain dans lequel on introduit du platine au fur et à mesure qu'il disparaît dans la masse incandescente. C'est à peine si on a la temps d'alimenter le four avec des lames épaisses de platine, quand l'opération marche bien ; mais il faut se souvenir que le platine nouveau doit toujours se liquéfier aux dépens de l'excès de chaleur communiqué au bain métallique répandu sur la sole. Nous avons chauffé dans un moufle les

lames que nous introduisions rouges dans le four de fusion. Nous pensons que l'opération est facilitée par cette précaution.

Une fois que le four est rempli, on l'échauffe au delà du point de fusion, en diminuant un peu la proportion d'oxygène, afin que les gaz soient plutôt réducteurs qu'oxydants, pour éviter le rochage. Si l'on doit couler le platine dans une lingotière de fer, telle que celle qui sera décrite plus loin, on laisse un peu refroidir le bain, de manière qu'il soit à une température à peine plus élevée que le point de fusion du métal, et on le coule avec les précautions dont nous aurons occasion de parler. Si la lingotière est en chaux, ce que nous préférons beaucoup, le gaz étant redevenu légèrement réducteur, on peut couler très-chaud, sans aucun inconvénient. D'ailleurs, toutes ces questions appartenant exclusivement à la pratique et pouvant être résolues par un ouvrier habile avec beaucoup plus de perfection et bien plus rapidement que par nous-mêmes, nous n'insisterons pas sur ces détails. Dès que le four est vidé, on rend aux gaz leur vitesse primitive, et on remet de nouveau du platine dans le four, qui peut servir indéfiniment, parce qu'il n'est pas du tout attaqué. La seconde fusion s'opère alors avec une rapidité extraordinaire, comme on en jugera par les résultats de nos mesures, et la dépense d'oxygène qui est au moins moitié moindre. Coulée.

Première fusion dans le four froid.

Platine de monnaies.	16^{kil},000
Durée de l'opération.	1 heure.

Deuxième fusion dans le four chaud.

Durée de l'opération.	20 minutes.
Platine iridié, provenant du traitement des minerais.	14^{kil},200

Oxygène dépensé.

Dans ces deux opérations, la vitesse des gaz était la même, et la pression dans le gazomètre de 12 à 14 centimètres de mercure.

Platine fondu, en tout.	30kil,200
Oxygène dépensé.	1.900 litres.
En moyenne par kilogramme de platine.	66lit,2
Vitesse moyenne de l'oxygène à l'heure.	1.328 litres.

Il faut éviter le rochage.

C. *Moulage du platine.* — Pour faire des lingots de platine destinés au laminoir, il faut prendre un grand nombre de précautions qui ont beaucoup d'analogie avec celles qui sont indiquées dans le moulage des lingots d'argent. Nous venons de dire, en effet, qu'en général il faut faire la fusion dans une atmosphère un peu réductrice. On enlève ainsi l'oxygène dissous dans le platine; et cette remarque est tellement juste, que, lorsqu'à la fin on donne un trop grand excès de gaz combustible, le platine saturé d'oxygène exhale une multitude de petites bulles d'eau et d'acide carbonique qui produisent un petit frémissement et projettent hors du four une myriade de globules microscopiques qu'on peut recueillir à 1 ou 2 décimètres du trou de coulée. Ce phénomène est surtout remarquable après un affinage avec grand excès d'oxygène : il serait même dangereux de le déterminer en présence des oxydes dont se dépouille le platine impur, et qui restent dans le four à cause de leur fixité. Leur réduction pourrait, à son tour, s'effectuer au détriment de la qualité du platine.

Lingotières de fer.

Les lingotières peuvent être en fer qu'on oxyde à sa surface et qu'on frotte ensuite de plombagine pour éviter toute adhérence entre le platine fondu et le fer : elles doivent être massives et de forme telle, que le lingot soit au moins aussi haut que large et peu épais.

Il vaut mieux, en général, les développer suivant la hauteur, afin de pouvoir plus facilement en détacher la *soie*, ou partie du lingot dans laquelle le retrait de la matière a laissé un vide. Ces lingotières doivent être munies de deux anses très-longues et très-solides, parallèles à la largeur et perpendiculaires à la direction du jet de platine qu'on va y introduire. Elles sont tenues par deux aides qui, pendant la coulée, impriment à la lingotière un mouvement de va-et-vient, afin que le platine fondu se répartisse bien également sur toute la surface, et surtout pour que le métal ne tombe pas toujours sur le même point de la lingotière ; sous l'influence de la chaleur sans cesse renaissante et du poids énorme du platine, elle finit par s'échauffer et se fondre à cette place. Nous avons coulé de très-beaux lingots dans des lingotières de fer, mais à la condition de couler *froid*. Dans certains cas où cette précaution n'avait pas été suffisamment gardée, il y a eu adhérence du lingot de platine et détérioration de la lingotière elle-même. On évite tous ces inconvénients en construisant cet appareil en chaux vive.

On prend deux lames de tôle plus ou moins épaisses, suivant les dimensions des lingots que l'on veut obtenir, on les plie sur l'enclume en leur donnant la forme indiquée par la *fig.* 2 (Pl. IV), et telle, qu'en rapprochant les deux parties de cet appareil, elles constituent un parallélipipède ouvert à l'une de ses extrémités. On y encastre deux grandes plaques de chaux vive ayant une épaisseur de 2 centimètres environ, et qui couvrent entièrement les deux faces les plus larges. Le fond et les parois latérales sont également garnis par des plaques ou des prismes de chaux qui maintiennent les plaques principales à la distance déterminée par l'épaisseur qu'on veut donner au lingot. On met toutes

Lingotières de chaux.

ces parties en place, on rapproche les deux enveloppes de tôle qu'on serre fortement avec du fil de fer. On a ainsi disposé toutes les parties de la lingotière, de telle façon que le platine fondu introduit par la partie béante ne sera jamais en contact qu'avec de la chaux vive. C'est donc dans de la chaux que se fera le moulage : c'est pourquoi toutes les faces intérieures doivent être bien polies et dépouillées de poussière de chaux qui pourrait s'en détacher au moment où le platine les touche. Le platine s'y moule avec une telle perfection, que des empreintes de fossiles se remplissent souvent de métal qui en reproduit les parties les plus délicates. M. Quennessen, habile fabricant de platine, a moulé ainsi, dans le laboratoire de l'École Normale, du platine pur et du platine iridié qui ont donné au laminoir des lames de la plus grande beauté.

La difficulté que nous avions à surmonter, c'était de produire des lingots qui, passés au laminoir, donnassent des feuilles exemptes des bulles ou bouillons que la chaleur fait développer à leur surface. Sous ce rapport, le succès a été aussi complet que possible.

Moulage en sable.

Enfin nous avons essayé de mouler le platine dans le sable des mouleurs, pensant qu'il pourrait y avoir quelque intérêt à produire du premier coup une pièce de platine avec tous ses détails, comme on le fait pour la fonte de fer ou de cuivre. Pour cela nous avons fait préparer par un mouleur en fonte de fer, et par les procédés qu'il emploie ordinairement, une roue dentée dont l'empreinte dans le sable devait ressortir en platine au moyen du métal fondu. La forme du châssis, la composition du sable, la préparation de la surface étaient exactement les mêmes que si l'on eût dû faire une coulée de fonte. Seulement, le moule était resté quelques heures de plus à l'étuve pour en assurer la

dessiccation. Le platine, fondu à la manière ordinaire, a été versé dans le trou de coulée; il a rempli tous les vides de la pièce, et le métal est venu se présenter à une seconde ouverture appelée *évent* qu'il a remplie entièrement, et où on a pu le voir rester liquide quelques instants encore après la fin de l'opération. Quant à la pièce, la roue dentée, elle était parfaitement venue. Une seule dent était imparfaite, et le mouleur garantissait qu'en changeant très-peu la disposition des diverses parties du moule, on aurait pu obtenir une *fonte* de platine aussi bien réussie que si on avait employé de la fonte de fer ou du cuivre. Cette roue dentée a été envoyée à Saint-Pétersbourg comme spécimen de cette curieuse opération. La surface intérieure du moule était scorifiée légèrement sur une épaisseur de 1 millimètre, mais elle avait conservé sa forme primitive sans aucune altération; et aucune parcelle de platine n'y était restée adhérente.

Ces détails suffisent pour montrer que désormais on pourra sans difficulté et avec une économie considérable produire des lingots de platine d'un poids quelconque et mouler le platine sous les formes les plus compliquées.

CHAPITRE V.

PRÉPARATION DE L'OXYGÈNE ET DE L'HYDROGÈNE.

---

§ I. *Oxygène.*

La fabrication de l'oxygène a exigé de notre part de longues études pour arriver, comme nous croyons y être parvenus, à produire de l'oxygène à bas prix, avec des appareils d'un emploi industriel et d'une manière continue. Nous avons dû successivement étudier tous

les modes d'extraction connus, parce que chacun d'eux nous paraît encore perfectible, et parce qu'il peut arriver que le procédé auquel on s'arrêtera varie d'un endroit à l'autre avec la facilité qu'on rencontrera à se procurer les matières premières et avec le prix de celles-ci.

Nous commencerons naturellement par l'étude du manganèse, comme source d'oxygène, parce que c'est la substance à laquelle nous avons dû avoir recours en premier lieu, puis nous examinerons, au point de vue de la production de l'oxygène, les sels divers et enfin l'acide sulfurique.

1° *Manganèse.* — Nous avons employé un grand nombre de variétés de manganèse, d'origine et de prix divers. Nous allons donner les résultats que nous avons obtenus, en décrivant successivement notre méthode d'essai et nos appareils de production en grand; enfin nous donnerons un aperçu du prix de revient de ce gaz précieux.

Appareil.

A. *Méthode d'essai.* — On prend une bouteille à mercure qui peut contenir de 4 à 5 kilogrammes de manganèse en poudre et fragments, on élargit l'ouverture taraudée placée à sa partie supérieure et on y fait ajuster un canon de fusil courbé à angle droit au quart de sa longueur et limé du côté de la culasse, de manière à présenter à cet endroit une surface légèrement conique. C'est cette extrémité enduite d'un lut composé de terre à poêle et de bourre de vache qu'on enfoncera à coup de maillet dans l'ouverture de la bouteille, que nous supposons emplie de manganèse pesé. On a pris le titre chlorométrique de la matière afin d'être renseigné approximativement sur sa teneur en oxygène (1).

(1) Il est bon de remarquer que l'oxyde rouge Mn^3O^4 donne

On place la bouteille à mercure dans un fourneau plein de coke qu'on allume et qui porte la température au rouge vif. L'oxygène se dégage et on le fait passer dans un flacon dont une tubulure porte un tube de sûreté, puis dans une solution de potasse : le premier flacon retient les eaux acides exhalées par le manganèse, la potasse retient l'acide carbonique; enfin le gaz purifié se rend soit dans un gazomètre gradué, soit dans un gazomètre tel que nous l'avons décrit et qu'il est représenté dans la Pl. I, *fig.* 5 de notre premier Mémoire. Dans ce cas, on met sur le trajet de l'oxygène un compteur à gaz susceptible de mesurer exactement son volume à 1 litre près. C'est de ce dernier appareil que nous nous sommes servis; il permet de mesurer les gaz dégagés sans perdre l'oxygène, qu'on envoie dans les gazomètres dès qu'il sort par du tube qui termine le compteur : on ne perd que l'oxygène resté dans les appareils du purification à la fin de l'opération. Cet oxygène a le même volume que l'air qu'il a déplacé et dont le passage au travers du compteur a déterminé la quantité.

Compteur.

Voici les résultats que nous avons obtenus : Résultats.

ORIGINE.	DEGRÉS. chlorométriques.	LITRES D'OXYGÈNE pour 1 kilogramme.
		litres.
Romanèche, n° 1	55 à 60°	34,3
Espagne, n° 2	61 à 63°	40,0
Pyrénées, n° 3	70°	41,1
Giessen, n° 4	75°	50,1
Piémont, n° 5	90°	60,0

du chlore et ne donne pas d'oxygène, ce qui fait que le titre chlorométrique ne suffit pas pour déterminer la valeur du manganèse comme source d'oxygène.

Les trois dernières espèces de manganèse nous ont été fournies par M. Mangin, de Paris, et ont été choisies parmi les variétés non calcaires, ce qui est important au point de vue de la fabrication de l'oxygène.

Le n° 1, venant de Romanèche, dans le Morvan, est bien connu ; il est ferrugineux et accompagné de quartz et de chaux fluatée. Il revient à 10 fr. les 100 kil. Il nous a été donné par M. Merle, d'Alais, qui l'achète à ce prix.

Le n° 2, coûtant 16 francs les 100 kil. à Paris, doit avoir sur le carreau de la mine une très-faible valeur : nons n'avons pu savoir son origine précise. Ce serait une variété très-avantageuse, si l'on pouvait l'avoir en grande quantité. Nous n'avons pu à cet égard nous procurer de renseignements suffisants.

N° 3. C'est une variété très-belle, contenant beaucoup de rognons très-purs et très-bien cristallisés. Des morceaux noirs et compactes traités par l'acide laissent un résidu abondant, composé de sable et de matière argileuse. Ce manganèse vient de Bagnères-de-Luchon ou des environs. C'est celui qui nous a servi dans la plupart de nos expériences. Il vaut 18 francs les 100 kil. à Paris.

N° 4. Le manganèse de Giessen est celui qui sert dans tous nos laboratoires à la production du chlore : il nous a été vendu à Paris 27 francs les 100 kil.

N° 5. Piémont. C'est de Traverselle que vient ce manganèse d'une très-grande pureté et qui est très-recherché par les verriers. Il vaut à Paris 40 francs les 100 kil.

Composition du gaz.

L'oxygène recueilli dans ces circonstances est loin d'être pur. Même quand on a pris toutes les précautions nécessaires pour expulser l'air des vases, on trouve encore dans les gaz recueillis une forte propor-

tion d'azote. Nous les avons analysés en recherchant l'acide carbonique par la potasse et dosant l'oxygène par le réactif de M. Liebig, le pyrogallate alcalin de potasse, qui convient très-bien à ces déterminations. L'azote reste et on peut en constater les propriétés négatives de manière à ne conserver aucun doute sur sa nature. Voici les résultats de nos analyses : Azote.

	N° 1. ROMANÈCHE.	N° 2. ESPAGNE.	N° 3. PYRÉNÉES.	N° 4. GIESSEN.	N° 5. PIÉMONT.
Oxygène.	94,6	93,7	94,5	94,0	96,4
Azote.	5,4	6,3	5,5	6,0	3,6
	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

Tout le monde sait, depuis Scheele, que l'oxygène obtenu du manganèse contient de l'azote, et que ce gaz se dégage au commencement de la préparation. Berzelius avait même observé que le gaz du manganèse possède une légère odeur nitreuse. Cette odeur, que nous avons bien souvent observée, nous l'avions attribuée à la présence de l'ozone : mais comme le gaz recueilli à une époque quelconque de la préparation de l'oxygène contient toujours de l'azote, nous avons dû chercher dans le manganèse lui-même la matière très-stable qui fournit un gaz dont la présence pouvait être fort gênante dans nos opérations métallurgiques.

Les manganèses que nous avons examinés jusqu'ici contiennent tous de notables quantités d'eau. 60 kil. de manganèse de Giessen donnent 5 kil. d'eau, dont la réaction est sensiblement acide. Si l'on évapore cette eau après l'avoir exactement saturée avec de la potasse

pure, on obtient 15 grammes de nitrate de potasse et 5 grammes environ de chlorure de potassium. L'absence des nitrites dans les sels cristallisés nous fait penser que le chlore et l'acide hyponitrique sont les deux produits gazeux qui se sont condensés.

Acide nitrique. Il paraît donc bien probable que le manganèse doit contenir de l'acide nitrique, à moins que l'ammoniaque, subissant au contact de l'oxygène et du manganèse une combustion totale analogue à celle qui se produit dans la célèbre expérience de M. Kuhlmann, ne soit l'origine de l'acide nitrique condensé. Nous avons lavé, avec de l'acide sulfurique faible, 250 grammes de manganèse finement pulvérisé, et nous n'avons trouvé dans la solution que 4 milligrammes d'ammoniaque que les 2 litres d'eau distillée employés avaient bien pu y apporter.

Nitrates. En faisant bouillir 500 grammes de manganèse de Giessen pulvérisé avec 1 ou 2 litres d'eau et 10 grammes de carbonate de potasse, traitant la liqueur filtrée par de l'acide acétique en très-léger excès et faisant évaporer à sec, on obtient un résidu salin qui, lavé par l'alcool à 80 degrés et bouillant, lui abandonne du nitre qui cristallise par le refroidissement.

Enfin, en faisant digérer 500 grammes de ce manganèse avec de l'eau pure et évaporant la solution filtrée, on obtient un dépôt salin qui a la composition suivante :

Sulfate de chaux.......	103 milligr.
Chlorure de calcium.....	205
Chlorure de magnésium...	84
Chlorure de sodium.....	174
Nitrate de soude.......	353
Nitrate de potasse......	629
	1.548

Chaque kilogramme de ce manganèse abandonne donc à l'eau 3g,096 de substances solubles tout à fait neutres. On est averti de la présence des nitrates dans ces matières par une circonstance importante à observer dans l'analyse. Quand on veut chasser par la chaleur l'acétate et l'oxalate d'ammoniaque qu'on a introduits pendant l'opération, il se manifeste dans les derniers moments une vive combustion et une déflagration assez forte pour que, même en couvrant les vases avec un entonnoir, on ne puisse toujours éviter des pertes.

Origine de l'azote des manganès.

On a de la peine à s'expliquer la formation du bioxyde de manganèse naturel qui ne se produit jamais par oxydation directe, et que nous ne pouvons obtenir dans nos laboratoires que par la décomposition de l'acide manganique et du nitrate de manganèse. Notre analyse nous ferait croire de préférence que le manganèse dérive du nitrate. De plus, le nitrate de manganèse neutre ou acide dissous dans l'eau et chauffé en vase clos vers 150° laisse déposer du bioxyde noir, miroitant, mamelonné comme certains manganèses naturels, mais nullement cristallisé. Cette expérience, que M. de Senarmont a faite et que nous avons répétée, étant rapprochée de la présence de l'acide nitrique dans le manganèse naturel, permettrait d'admettre l'opinion que nous venons de développer.

Opinion de M. Boussingault.

Mais M. Boussingault, qui a analysé un grand nombre d'échantillons de manganèse et qui y a trouvé (1) constamment de l'acide nitrique, attribue la présence de cet acide à l'infiltration des eaux pluviales et chargées de matières organiques au travers des terrains

(1) Voyez *Comptes rendus des séances de l'Académie des sciences*, t. L, p. 868 et 890.

dans lesquels se trouvent les gisements de manganèse ; il rend cette explication très-probable dans la plupart des cas qu'il a examinés, en montrant qu'effectivement l'acide nitrique se rencontre dans toutes les substances qui ont eu le contact des eaux météoriques.

Il y a d'ailleurs une autre considération qui tend à rendre cette question indécise. D'après l'analyse n° 4 des gaz provenant de la décomposition du manganèse de Giessen, en supposant que nous ayons complétement chassé l'air de nos appareils avant d'analyser le gaz, ce qui est à très-peu près exact, et d'après la proportion d'oxygène que nous avons extraite de ce manganèse, celui-ci devrait renfermer 3,6 p. 100 d'azote, tandis que l'analyse directe rapportée plus haut n'y constate que 1 millième d'acide nitrique. Il faut admettre que l'azote s'y trouve à un état particulier encore inconnu et qu'il faudrait rechercher par de nouvelles expériences. Nous admettons volontiers que nos déterminations, bien suffisantes pour un travail technique tel que celui que nous publions aujourd'hui, ne dispensent pas des recherches minutieuses que nous nous proposons d'entreprendre pour élucider cette question intéressante.

Conséquences de l'impureté de l'oxygène.

Au point de vue pratique, cette impureté du manganèse n'a absolument aucun inconvénient. Voici une expérience qui le prouve. Nous avons mêlé de l'oxygène avec un quart environ de son volume d'air et nous avons eu :

Platine fondu.	10 kilogrammes.
Oxygène employé.	1.200 litres.

Composition de cet oxygène :

Oxygène.	82,7
Azote	17,3
	100,0

Cette opération, faite en une seule fois, n'aurait pas beaucoup mieux réussi avec le volume d'oxygène employé en le supposant pur.

Gaz combustibles produits par le manganèse.

En essayant le pouvoir comburant de l'oxygène au moment où il commençait à se dégager dans nos appareils, nous avons eu plusieurs fois une explosion très-violente. Nous ne pouvons expliquer cette explosion que par la présence de matières organiques mélangées accidentellement ou par fraude au manganèse. Il sera donc toujours prudent d'essayer les gaz au moyen d'une petite éprouvette quand on préparera de l'oxygène avec un manganèse qu'on n'aura pas encore expérimenté.

Four.

B. *Appareils de production.* — On trouvera dans la *fig.* 3 (Pl. IV) la coupe du four qui nous a servi en même temps à faire nos coupellations de platine et à préparer l'oxygène au moyen du manganèse. Quand on ne se servait pas de la coupelle, on remplissait avec des briques l'intervalle qu'elle doit occuper, de manière à prolonger l'autel jusqu'en D. Nous avons d'ailleurs constaté que la chaleur perdue de la coupellation était bien suffisante à la décomposition complète du bioxyde de manganèse.

Manchons.

On charge le foyer F avec de la houille. Dans la seconde partie du four on place à demeure quatre grands cylindres en terre de 20 centimètres de diamètre intérieur. Ce sont des manchons destinés à recevoir la flamme du foyer, fermés à leur partie inférieure par la portion de la sole sur laquelle ils viennent s'appuyer et à la partie supérieure par des briques convenablement taillées et percées d'un trou pour laisser passer le col des bouteilles que nous allons décrire. Ces quatre manchons sont reliés au massif supérieur du fourneau par des briques cimentées avec de la terre et qui forment la continuation de la voûte du réverbère.

Bouteilles de fonte.

Dans ces manchons on introduit des bouteilles en fonte munies d'une panse G, destinée à recevoir le manganèse, et d'un col C qui sort du manchon par un trou ménagé dans une brique mobile et servant de fermeture au manchon. Ces bouteilles elles-mêmes sont fermées par un obturateur conique en fer, ajusté sur l'ouverture des bouteilles et qu'on enfonce après l'avoir enduit d'un mélange de terre à poêle et de bourre de vache. L'obturateur est maintenu par des vis de pression VV qui le traversent et traversent également un collet TT ménagé à la fonte sur le col de la bouteille. Enfin l'obturateur porte un crochet K qu'il faut fixer au collet TT et auquel est attachée une corde. Celle-ci s'enroule autour d'une poulie et soutient un poids qui fait équilibre exactement au poids de la bouteille chargée des 20 kilogrammes de manganèse qu'elle peut contenir. Sans cette précaution les parois de la fonte rougie s'affaisseraient sur elles-mêmes et augmenteraient en diamètre au point de ne plus pouvoir sortir du manchon. On doit laisser 2 centimètres de jeu entre le manchon et la bouteille.

Ces bouteilles ont 90 centimètres de hauteur totale, 16 de diamètre extérieur à la panse et 1 centimètre environ d'épaisseur. On ne doit les remplir de manganèse que jusqu'au point (déterminé par une première épreuve) où elles rougissent bien franchement. En adoptant les dispositions indiquées par notre figure, on pourra mettre du manganèse jusqu'au commencement du col des bouteilles.

Dispositions des pièces de l'appareil.

Avant de faire fonctionner ces appareils, on les remplit d'eau pour s'assurer que la fonte n'est pas percée, puis on les charge de manganèse concassé dont les plus gros morceaux ne doivent pas avoir plus de 2 centimètres d'épaisseur. On ajuste alors un tube de fer

taraudé L, qui se visse dans un trou muni d'un pas de vis qu'on a pratiqué à la partie supérieure du col de la bouteille un peu au-dessous du collet. On garnit les joints avec de la terre à poêle et du poil de vache, on ajuste les obturateurs avec les précautions déjà indiquées et on met les bouteilles en place dans leurs manchons. Avec des tubes de caoutchouc on fait communiquer chacun de ces tuyaux avec un petit barillet en cuivre tel que celui qui est dessiné dans la *fig.* 6 de la Planche de notre premier Mémoire (*Annales des mines*, t. XVI, Pl. I). L'eau condensée et le gaz s'échappent ensemble et, traversent un flacon tubulé à sa partie inférieure dans lequel l'eau se rassemble; le gaz se rend dans le laveur, dont nous allons donner une description détaillée, puis enfin dans le gazomètre.

Le laveur est une double caisse cylindrique en cuivre ou en plomb, composée de huit cylindres tous concentriques, en y comprenant le tube d'arrivée *dd'*. Celui-ci doit plonger jusqu'à la moitié de la hauteur de la caisse. La seconde cloison, terminée en *a''*, est percée de trous *e*, pratiqués sur un même plan horizontal et de 5 millimètres de diamètre : ces trous sont placés à un niveau supérieur de quelques millimètres à l'extrémité *d* du tube *dd'* d'arrivée. La quatrième cloison, terminée en *a'*, est de même percée de trous *e'* de 2 millimètres de diamètre et placés à quelques millimètres au-dessus du niveau des trous *e*. La sixième cloison *a* plonge jusqu'au fond de la caisse et clôt l'appareil par une fermeture hydraulique. Toutes ces cloisons paires *a''*, *a'*, *a* sont, ainsi que le tube d'arrivée *dd'*, fixées par des soudures bien jointes à la paroi supérieure *p* de la caisse, et une fois qu'elles plongent dans l'eau que celle-ci doit contenir, elles interceptent toute commu- Laveur.

nication directe entre leurs cavités cylindriques. K est le tube de sortie des gaz.

Un autre système de cloisons cylindriques empêche aussi le mélange des liquides de ces différentes cavités. La cloison extérieure AA ferme la caisse, les cloisons cylindriques A′, AA″, qui vont presque joindre la paroi supérieure *p*, en laissant pourtant un petit intervalle par où passeront les gaz, interceptent toute communication entre les diverses parties du liquide contenu dans la caisse. Ces cloisons A, A′, A″, A‴ sont toutes les trois soudées à la paroi inférieure P.

Des trous *q* sont placés à la partie inférieure de la paroi *a*. Un large trou O pratiqué dans la cloison A′, et placé un peu au-dessous des ouvertures *e* qui donnent passage au gaz, fait communiquer le dernier intervalle annulaire avec le troisième. Celui-ci communique avec le premier intervalle annulaire par un trou O′ placé à la partie inférieure de la cloison A″ ; enfin un trou O″, placé un peu au-dessous de l'orifice *d*, met le cylindre extérieur en communication avec le premier intervalle annulaire. Le liquide qui arrive par le robinet R peut s'échapper par le tube T et le robinet *r* : un indicateur de niveau N montre la hauteur du liquide dans l'intérieur de la caisse.

Le gaz arrivant par le tube *dd′* soulève le liquide laveur, passe dans le second intervalle annulaire par sa partie supérieure, traverse le liquide par les trous *e*, passe encore par la partie supérieure dans le quatrième espace annulaire, traverse une troisième fois le liquide par les trous *e′* et sort par le tuyau K pour se rendre dans le gazomètre.

Le liquide laveur, qui est ici de la soude caustique en dissolution faible, arrive par le robinet R, traverse les trous *q*, pénètre par le trou O dans le second inter-

valle annulaire réservé au liquide, fait le tour de l'appareil en descendant pour arriver au trou O' ; de là, il fait le tour de l'appareil en montant pour arriver par le trou O'' dans le cylindre extérieur, d'où il s'échappe en descendant au moyen du tube T et du robinet *r*.

Toutes les surfaces cylindriques qui cloisonnent les gaz *a*, *a'* *a''*, les tubes R et *dd'* tiennent à la paroi supérieure *p* et peuvent être séparées du reste de l'appareil, ce qui permet de partager celui-ci en deux parties distinctes, de l'ouvrir et de le nettoyer de temps en temps, s'il s'y est fait des dépôts. (Les cloisons A, A', A'', A''' tiennent seulement à la paroi inférieure P.)

Enfin le niveau L permet de donner à l'appareil une position horizontale, de manière que les gaz s'écoulant par tous les trous *e*, *e'*, *e''* à la fois, le lavage s'effectue sur toute la surface des cloisons. L'appareil ne donne qu'une pression de 1 à 2 centimètres au gaz qui doit le traverser. Il porte en M un petit manomètre à air libre, qui permet de connaître la pression dans l'intervalle annulaire qui est en communication avec le gazomètre. Le manomètre placé sur le barillet qui reçoit directement la vapeur d'eau et l'oxygène donne la pression au sortir des bouteilles. Le gazomètre est construit de telle façon qu'on peut annuler la pression due au laveur : la pression indiquée par le manomètre *m* devra donc être un peu inférieure à la pression extérieure, et, dans l'indicateur de niveau, le liquide laveur devra s'abaisser un peu au-dessous de la partie moyenne de l'appareil. La limite des pressions soit en plus, soit en moins par rapport à la pression ambiante qu'on peut communiquer au gaz arrivant par *dd'*, est mesurée par une colonne du liquide laveur égale à la moitié de la hauteur totale de l'appareil. On construira donc celui-ci en tenant compte de cette circonstance. Le laveur

dont nous nous sommes servis avait 35 centimètres de haut, ce qu'on peut voir d'ailleurs d'après les cotes qui sont jointes aux planches.

Construction.

Gazomètre — Le gazomètre (Pl. IV, *fig.* 1) dont nous nous sommes servis est en tôle forte de 2 à 3 millimètres d'épaisseur, rivée avec soin dans tous les joints. C'est un grand cylindre de $1^m,10$ de hauteur, et de $1^m,60$ de diamètre. Les deux parois horizontales sont réunies par un grand nombre de tirants en fer dont quelques-uns seulement sont représentés sur la figure.

Un trou d'homme placé à la partie supérieure laisse passer deux tubes munis de robinets, dont l'un LL mène le gaz jusqu'à la partie inférieure du gazomètre, dont l'autre MM, très-court, donne issue à l'oxygène quand on veut s'en servir. Un gros robinet à soupape SS, portant 5 centimètres de diamètre et terminé par un large tube de caoutchouc, donnera issue à l'eau (dont on suppose le gazomètre plein) quand on voudra introduire l'oxygène, et accès à l'eau d'un réservoir de 2 ou 3 mètres d'élévation quand on voudra se servir de l'oxygène.

Détermination de la pression.

La pression donnée au gaz dans le laveur et par suite dans l'appareil entier dépendra de la différence de niveau entre les extrémités L du tube d'arrivée du gaz et de l'extrémité T du large tube de caoutchouc, qu'on relèvera un peu à son extrémité pour lui donner une courbure et empêcher la rentrée de l'air. On peut également le faire plonger dans une terrine au-dessus de laquelle l'eau débordera pour se rendre au dehors. On pourra donc remplir le gazomètre de gaz sous une pression quelconque : mais en général on s'astreindra à détruire seulement la pression due au laveur et au barillet, de manière que le gaz sortant des bouteilles

n'éprouve aucune résistance, et qu'il ne puisse s'y faire d'aspiration.

Notre gazomètre contient 2^{mc},25. Cette quantité de gaz est suffisante déjà pour fondre 30 à 40 kil. de platine.

C. *Conduite de l'opération.* — Quand les bouteilles sont chargées et mises en place, que la partie supérieure des manchons est bien fermée avec des briques convenablement taillées, qu'on a placé et luté les bouchons des bouteilles, établi toutes les communications, sauf celles qui mettent le barillet en rapport avec le laveur, on met le feu dans le foyer, et on le pousse le plus activement possible en ouvrant largement les registres qui communiquent avec la cheminée. Bientôt l'eau distille dans le barillet qu'on refroidit par un filet d'eau : elle vient d'abord des deux bouteilles qui sont sur le premier rang et ensuite des deux dernières. Le gaz qui passe en premier lieu éteint les bougies, n'est pas absorbable par la potasse, c'est de l'azote ; puis souvent il devient explosif, ce qui provient soit des matières organiques contenues dans le mélange, soit peut-être d'un peu d'eau que décompose le fer et dont l'hydrogène se mêle dans le barillet aux premières bulles d'oxygène. Nous avons dit déjà qu'à cause de cette circonstance il fallait toujours faire l'essai des gaz au moyen d'une éprouvette, et non pas en approchant simplement une allumette enflammée de l'orifice par lequel il se dégage. Nous avons eu ainsi une explosion extrêmement forte, qui nous a averti du danger de ce mode d'essai.

Mise en feu.

Essai du gaz.

Quand l'oxygène rallume vivement une bougie présentant un point en ignition, on met en communication tous les appareils de condensation et de purification avec le tube L (Pl. IV, *fig.* 1). On fait arriver un petit

filet de soude caustique étendue par le robinet R du laveur (Pl. IV, *fig.* 3), de manière à donner une vitesse d'écoulement de 1 litre à $\frac{1}{2}$ litre par heure, et l'on en fait écouler autant par le robinet *r* pour que le niveau de l'eau dans l'indicateur reste constant; on ouvre entièrement le robinet SS du gazomètre (Pl. IV, *fig.* 5) et on règle la hauteur de l'extrémité T du caoutchouc, de manière que la pression soit nulle dans les bouteilles de fonte.

Dégagement.

A partir de ce moment l'appareil ne demande plus aucun soin : il se règle de lui-même. On pousse le feu sans ménagement de manière que la vitesse de dégagement du gaz peut aller jusqu'à 800 litres à l'heure. Si l'on a mis le feu dans le foyer à 7 heures du matin, le four n'est rouge qu'à midi et la production de l'oxygène n'est à son maximum qu'à 3 heures. Vers 6 heures du soir on charge le fourneau, on ferme presque entièrement le registre de la cheminée et l'on relève un peu le niveau du tube T (Pl. IV, *fig.* 1) du gazomètre, de manière à maintenir dans tout l'appareil une pression un peu plus forte que la pression extérieure, ce que l'on estime facilement au moyen du manomètre à eau placé sur le barillet, et on laisse l'opération à elle-même pendant la nuit. Le lendemain, on ferme les robinets du gazomètre, on met le tube T en communication avec le réservoir d'eau, et l'on en fait entrer un peu dans le gazomètre jusqu'à ce que le manomètre à air libre P (Pl. IV, *fig.* 1) revienne exactement au zéro. On ferme alors le robinet S, et, si l'on remplace les bouteilles de fonte par de nouvelles que l'on a remplies de manganèse, l'appareil peut fonctionner immédiatement. Dans une fabrication courante, il faudrait avoir plusieurs gazomètres et préparer l'oxygène d'une manière continue. On ferait une grande économie de combustible.

Marche continue.

On enlèverait les premières bouteilles dès qu'elles seraient épuisées (ce qui se voit facilement en enlevant les caoutchoucs qui les relient au barillet et trempant leurs extrémités dans l'eau pour s'assurer qu'il ne se dégage plus de gaz), et on les remplacerait par de nouvelles bouteilles toutes chargées. Le barillet rendant les quatre bouteilles indépendantes les unes des autres, les vérifications peuvent se faire à un moment quelconque de l'opération. Les deux bouteilles les plus éloignées du foyer mettant un peu plus de temps à s'épuiser, on ne les remplacerait que lorsque tout dégagement de gaz venant de leur intérieur aurait complétement cessé. On comprendra combien cette continuité de l'opération peut apporter d'économie dans la fabrication de l'oxygène, quand on comparera la quantité de charbon nécessaire à la mise en train avec la quantité de charbon nécessaire à la production de l'oxygène lui-même au moment où le four est déjà chaud. Seulement, en marche continue, il ne faudra faire communiquer les bouteilles récemment introduites dans leurs manchons avec le barillet que lorsque le gaz qui s'en échappera rallumera vivement une bougie présentant un point en ignition.

Nos bouteilles de fonte ont marché régulièrement pendant plus de six mois. Nous n'en avions que quatre. L'une d'elles, qui avait un défaut, s'est brisée à la suite des deux ou trois premières chauffes. Des trois autres, deux sont encore en très-bon état, une seule a été détruite par le feu le dernier jour de nos opérations. En la brisant nous avons pu constater que la fonte s'était transformée sur une partie de son épaisseur, tant à l'intérieur qu'à l'extérieur, en oxyde magnétique très-compacte, imperméable aux gaz et présentant une très-grande résistance. La partie centrale était encore de la **Durée des vases.**

fonte ou du fer, la partie qui avait cédé correspondait précisément à une ouverture, résultant d'une imperfection dans la coulée et qu'on avait bouchée avec un rivet en fer dont les bords avaient été rabattus sur la fonte. Il nous est permis de croire que des bouteilles de fonte bien fabriquées et bien éprouvées résisteraient plus d'une année à un service régulier. Aussi nous pensons que le prix des vases ne doit intervenir que d'une manière insensible dans le prix de revient de l'oxygène fabriqué avec le manganèse. Ces bouteilles pesaient 26 kilogrammes et coûtaient 36 francs les 100 kilogrammes.

Fabrication des manchons.

Quant aux manchons, ils doivent être faits avec des terres qui résistent bien au feu sans être réfractaires et on doit employer pour leur fabrication une pâte dans laquelle on introduit une très-forte proportion d'un ciment très-grossier. Ils ne se sont cassés que très-rarement dans nos opérations et toujours par le choc des bouteilles au moment de leur extraction, l'intervalle que nous avions laissé entre la fonte et la terre étant insuffisant, beaucoup plus petit que celui que nous avons indiqué dans la description qui précède. Ces manchons, qui étaient d'un tiers trop hauts pour notre fourneau et que nous étions obligés de faire couper, nous revenaient à 15 francs chacun. Nous avons oublié de dire qu'ils étaient placés très-près l'un de l'autre dans le four, si bien qu'il n'y avait que 3 centimètres de distance de l'un à l'autre et de chacun d'eux aux parois latérales du four, pour que la flamme, forcée de passer également en haut et en bas, chauffât d'une manière régulière toutes leurs surfaces.

Composition de l'oxygène recueilli.

Quand on fait servir les bouteilles pour la première fois, le charbon de la fonte et de la brasque adhérente à la surface donne une assez grande quantité d'acide

carbonique, si bien que le rendement en oxygène en est diminué. En voici une preuve dans l'opération qui suit, où notre laveur n'ayant pas encore été installé, le gaz avait traversé un flacon de 5 litres plein de fragments de potasse. Ce flacon s'est, en absorbant l'acide carbonique, échauffé à plus de 100° et le gaz n'a pas été aussi bien dépouillé d'acide carbonique qu'il l'aurait été par notre laveur.

Manganèse de Giessen introduit dans les bouteilles.	66 kilogr.
Oxygène produit.	2.250 litr.

Composition de cet oxygène :

Azote et oxygène.	96,6
Acide carbonique.	3,4
	100,0

Le gaz était mesuré par un compteur très-sensible interposé entre le laveur et le gazomètre.

Dans les autres opérations nous sommes arrivés à de meilleurs résultats, comme on va le voir par les rendements que nous rapportons ; nous avons aussi mesuré avec soin le charbon dépensé pour établir le prix de revient fixé plus loin. Prix de revient.

Manganèse de Giessen.		66 kil.
Oxygène produit.	3.024 lit.	3.410 lit.
Oxygène resté dans les deux dernières bouteilles et retiré le lendemain. . . .	386 lit.	
Charbon dépensé pour les 500 premiers litres.	68 kil.	120 kil.
Charbon dépensé pour les 2.524 derniers litres.	52 kil.	
Vitesse maximum à l'heure.		800 lit.
Oxygène par kilogramme.		51^{lit},7
Charbon dépensé par mètre cube pour les premières portions de gaz.		136 kil.
Charbon dépensé par mètre cube pour les dernières portions de gaz.		20^{kil},6
Charbon dépensé en moyenne par mètre cube. . . .		25^{kil},2

La dépense de charbon est restée la même dans toutes les opérations que nous avons faites après celle-ci.

Le résidu de la fabrication de l'oxygène a été vendu à un fabricant de produits chimiques au prix de 10 francs les 100 kilogrammes : il était destiné aux verriers, qui le préfèrent au manganèse cru, parce qu'il a perdu 12 p. 100 d'eau et d'oxygène, qui n'ont qu'une influence mauvaise ou nulle dans la préparation du verre.

L'opération à elle seule ne peut suffire à occuper un ouvrier qui toutes les heures charge le fourneau, sans avoir jamais à toucher à aucune partie de l'appareil, de sorte que nous estimons qu'avec des appareils suffisamment grands un seul ouvrier pourrait fabriquer facilement 10 mètres cubes d'oxygène par jour.

Avec ces éléments on peut calculer le prix de revient de l'oxygène extrait du manganèse de Giessen sur les bases suivantes :

	fr.
66 kilogrammes à 27 francs les 100 kilos (à Paris). . .	17,82
Main-d'œuvre.	1,19
Combustible	2,72
Entretien des appareils, etc.	0,50
Total.	22,23
Dont il faut retrancher la valeur de 58 kilogrammes de manganèse rouge à 10 francs les 100 kilogrammes. .	5,80
Prix de 3.410 litres d'oxygène.	16,43
Ou pour 1 mètre cube.	4,87

On calcule ainsi pour les manganèses que nous avons analysés les prix de revient suivants :

	Prix des 100 kilogrammes.	Prix d'un mètre cube d'oxygène.
	fr.	fr.
Romanèche.	10	4,86 (1)
Espagne.	16	3,45
Pyrénées.	18	3,86
Giessen.	27	4,87
Italie.	40	5,98 (2)

On a admis pour ces calculs les données suivantes, appuyées sur les expériences précédentes :

Charbon nécessaire pour décomposer 100 kilog. de manganèse.	206 kil.
Main-d'œuvre pour 100 kilog. de manganèse.	1f,81
Usure des appareils, etc., par 100 kil. de manganèse.	0f,75

Nous proposerons un procédé que nous croyons plus économique pour préparer l'oxygène. Mais nous ferons remarquer que pour une industrie qui aurait intérêt à préparer ce gaz et qui serait à proximité d'une verre- Observation.

(1) Les résidus de ce manganèse n'ont pas été comptés; ils sont sans valeur à Paris, à cause de leur teneur considérable en fer. Ils pourraient être utilisés seulement dans les usines où l'on fabrique le verre à bouteille.

Nous devons remarquer à cette occasion que le manganèse rouge serait bien superieur au bioxyde, qui perd de l'eau et de l'oxygène à une si basse température, dans la plupart de ses usages en verrerie et en métallurgie. Le dosage du manganèse rouge est plus facile à faire, à cause de la constance de sa composition et de la variabilité de composition en eau et oxygène du manganèse naturel. Il est encore bien suffisamment oxydant pour les verriers, et il est préférable quand on veut le faire entrer dans la composition des substances qu'on introduit dans les creusets où l'on fond l'acier, dans les fours à puddler où l'on fabrique fabrique l'acier puddlé, etc.

(2) Le résidu d'un pareil manganèse vaut incontestablement plus de 10 francs les 100 kilogrammes, de sorte que ce prix de revient est trop élevé. Il en est de même pour le Giessen, de sorte qu'on peut admettre que le prix du mètre cube d'oxygène est en moyenne de 4 francs, quels que soient l'origine et le prix du manganèse employé.

rie, d'une aciérie ou d'une usine où le manganèse fût employé, dans des opérations de voie sèche, la matière première prenant, après sa calcination, une valeur plus grande qu'auparavant, pourrait n'être pas comptée dans le prix de revient. Dans ce cas, l'oxygène reviendrait à $1^{fr},34$ le mètre cube ou 1 franc le kilogramme en fabrication intermittente ; en fabrication continue, le prix serait considérablement abaissé.

Rendement. II° *Chlorate de potasse.* — Le chlorate de potasse donne 271 litres d'oxygène par kilogramme. Un de ses inconvénients consiste dans la difficulté de son maniement. On parvient pourtant à rendre sa décomposition régulière et à supprimer tout danger dans la fabrication en le mélangeant, avant de le décomposer, avec une ou deux fois son poids de manganèse qui sert indéfiniment, pourvu qu'on le lave après qu'il a servi, ce qui est d'ailleurs indispensable pour retrouver le chlorure de potassium dont la valeur ne doit pas être négligée dans la fixation du prix de l'oxygène.

Prix de revient. Nous avons constaté que le chlorate de potasse donnait, à une basse température, la quantité théorique de l'oxygène qu'il contient, que le prix du chlorure de potassium couvrait sensiblement les frais de fabrication, de lavage, d'évaporation du chlorure de potassium. Malgré cela, le mètre cube préparé avec ce sel revient encore à 10 francs à très-peu près. Comme le chlorure de potassium ne peut être transformé en chlorate de potasse que par le chlorure de chaux, fabriqué lui-même avec le manganèse, il n'y a pas d'espoir que l'oxygène préparé par cette méthode puisse être préféré au gaz que l'on obtient directement avec le manganèse. Cependant, à cause de la facilité avec laquelle cette préparation s'exécute, nous avons cru devoir mentionner brièvement les résultats de nos essais.

III° *Chlorure de chaux.* — Le chlorure de chaux chauffé au rouge sombre donne par kilogramme de 40 à 50 litres d'oxygène mêlé à un peu de chlore dont on peut se débarrasser soit en ajoutant un peu de chaux éteinte au chlorure pour le rendre fortement alcalin, soit en lavant le gaz par de l'eau alcaline. Le premier moyen serait plus économique et permettrait d'ailleurs l'emploi des vases de fer. Il faudrait éviter de pousser la chaleur jusqu'au point où le chlorure de calcium, qui reste comme résidu, entre en fusion, ce qui d'ailleurs arriverait moins facilement avec un mélange de chaux éteinte et de chlorure de chaux. Appareils.

Le prix de revient de l'oxygène, non compris les frais d'extraction qui sont peu considérables, sera au moins quatre fois et demie plus élevé que le prix du kilogramme de chlore ou 3fr,60 environ. Le mètre cube reviendrait donc à 5 francs, Dans les laboratoires, ce mode de préparation de l'oxygène par le chlorure de chaux est très-commode, très-expéditif et même économique, par rapport au manganèse. Sa production est très-régulière et ne présente d'ailleurs aucun danger : nous recommandons particulièrement ce procédé aux chimistes. La calcination du chlorure de chaux peut se faire dans un vase de verre. On le mélangera avec un peu de chaux éteinte, avant de l'introduire dans la cornue, et on lavera le gaz avec un peu de lessive alcaline avant de le recueillir. Prix de revient.

IV° *Nitrate de soude.* — Berzelius donne le salpêtre comme une des matières dont on peut extraire facilement l'oxygène. M. Balard nous a fait observer en outre que le nitrite de soude que l'on peut obtenir comme produit de la décomposition incomplète de nitrate de soude, pouvait être employé aussi bien et aussi économiquement que le nitrate à la production des vapeurs Avantages de l'emploi de ce sel.

nitreuses qui servent, dans les chambres de plomb, à fixer l'oxygène de l'air sur l'acide sulfureux pour transformer ce dernier gaz en acide sulfurique. Nous avons donc cru nécessaire d'expérimenter sur cette matière, seulement pour être fixés sur la facilité avec laquelle elle se manie et pour étudier la composition des gaz qui résultent de sa calcination à basse température. Cette chaleur doit être telle qu'on ne produise que des quantités insignifiantes de gaz azotés. La production du gaz nitreux qui se manifeste au commencement de l'opération est inévitable; mais ce gaz étant très-soluble dans l'eau, peut être recueilli et utilisé. Quant au protoxyde d'azote, sa présence correspond à une perte d'acide nitreux enlevé à la soude qui devient libre et dont la valeur est moindre que la valeur du nitrite qu'il faut conserver à tout prix, au risque de laisser encore dans le résidu une forte proportion de nitrate non décomposé.

Calcination du nitrate de soude.

On a pris du nitrate de soude brut du commerce, humide. . . . . 1 kilogramme.

On l'a introduit dans une bouteille à mercure qu'on a chauffée au rouge sombre vers 700° à peu près, on a obtenu :

1° Vapeurs nitreuses. . . . .
2° Gaz très-comburant. . . . 120 litres.

La composition de ce gaz était :

Oxygène et un peu de protoxyde d'azote.	74,2
Azote.	25,8
	100,0

On a enlevé le feu au moment où les gaz commençaient à devenir très-riches en azote. Le résidu très-

alcalin contenait beaucoup de nitrite et peu ou point de nitrate. La cornue n'avait pas été attaquée d'une manière sensible. L'opération marche très-vite au moment où la décomposition commence, et demanderait des précautions si on l'exécutait sur un forte proportion de nitrate de soude.

V° *Nitrate de baryte.* — Nous devions expérimenter le procédé de M. Boussingault pour l'extraction de l'oxygène de l'air au moyen de la baryte : les belles expériences de M. Boussingault (voyez *Annales de chimie et de physique*, 3ᵉ série, t. XXXV) ne laissaient pas grand'chose à faire au point de vue théorique; mais nous avons voulu rechercher les conditions dans lesquelles il faudrait se mettre pour opérer en grand, et l'on verra qu'elles sont très-simples.

A. *Décomposition du nitrate de baryte* — La décomposition du nitrate de baryte donne naissance à des vapeurs nitreuses, à du protoxyde d'azote et à de l'oxygène. Le gaz qui en résulte est fortement comburant : il peut servir à la fusion du platine en produisant des effets calorifiques qui sont à peu près proportionnels à sa richesse en oxygène. Produits gazeux.

Nous avons pris du nitrate de baryte fondu que nous avons introduit dans une cornue de grès placée dans un fourneau et communiquant avec un gros tube de Liebig de $\frac{3}{4}$ de litre de capacité, que nous avions construit avec de petits ballons de $\frac{1}{8}$ de litre réunis entre eux par des tubes soudés à la lampe. Ce tube contenait une lessive de soude concentrée ne perdant pas trace d'humidité par le passage des gaz qui eux-mêmes étaient secs, puisque nous opérions sur du nitrate de baryte fondu et en gros fragments. Les gaz recueillis dans des cloches ou dans un gazomètre gradué étaient mesurés sous la pression extérieure.

Nous avons opéré sur 200 grammes de nitrate de baryte.

Nous avons obtenu :

Acide nitreux, vapeurs nitreuses . . .	5gr,80 (1)
Gaz recueilli	47lit,55
Pression	760mm
Température	24°
Baryte restée dans la cornue	114gr

Analyse du gaz passé au dernier moment.

Protoxyde d'azote	1,6
Azote	37,2
Oxygène	61,2
	100,0

Analyse du gaz de l'opération entière.

Protoxyde d'azote	1,0
Azote	32,3
Oxygène	66,7
	100,0

Acide hyponitrique.

Cette opération nous a fait voir que le nitrate de baryte se décompose entièrement à une chaleur peu élevée qui est le rouge simple, qu'il donne en vapeurs nitreuses une quantité d'acide capable de saturer 10 p. 100 de la baryte qui reste comme résidu, et des gaz comburants qu'on peut employer purs ou mélangés d'oxygène à la fusion du platine, enfin que 1 kil. de nitrate de baryte donne 238 litres de ces gaz mélangés, ou bien 192 litres d'oxygène pur ou mélangé de protoxyde d'azote. Nous ferons remarquer à ce propos que le protoxyde d'azote, d'après les expériences de MM. Favre et Silbermann, donnant pendant la combustion une

(1) Ce nombre est un peu faible ; un peu de vapeur nitreuse avait réellement échappé à la condensation, et se décelait par son odeur dans les gaz recueillis.

quantité de chaleur plus grande que l'oxygène qu'il contient, son emploi est probablement aussi avantageux que celui de l'oxygène pur.

B. *Préparation du bioxyde de barium.* — Nous avons opéré sur 5 kil. de baryte anhydre que nous avons introduits dans une bouteille à mercure percée à ses deux extrémités d'un trou dans lequel on avait introduit un canon de fusil. L'air était amené par un soufflet dans la bouteille chauffée au rouge par du coke, il en sortait par un des canons de fusil, ce qui permettait d'en recueillir une certaine portion destinée aux analyses. Appareil.

Nous devons avertir ici qu'on n'obtiendra jamais un bon résultat en employant des quantités considérables de baryte si l'on n'emploie pas de la baryte absolument exempte de nitrate ou de nitrite, en général de matières fusibles. Dans toutes nos opérations, qui ont été conduites avec les précautions indiquées par M. Boussingault, nous avons obtenu en grand des résultats moins avantageux sans doute que les siens, mais à très-peu près concordants avec ceux que l'on trouvera dans son mémoire. Seulement, nous avons été obligés d'appliquer à nos appareils une chaleur bien plus intense, à cause de l'épaisseur de la couche des matières employées, et nous avons dû renoncer à l'emploi de l'air saturé d'humidité pour révivifier le bioxyde de barium. Si l'air contient beaucoup d'humidité, comme on en fait passer des masses considérables au travers de l'appareil, il se forme de l'hydrate de baryte, la baryte caustique s'en imprègne en perdant sa porosité, enfin elle finit par devenir pâteuse, si bien qu'on ne peut plus l'extraire des bouteilles à mercure. Avec des appareils à grande surface contenant peu de matière, on n'a pas à craindre de pareils accidents, parce que la chaleur nécessaire est moins intense.

Absorption de l'oxygène de l'air.

Dans ces conditions, l'absorption de l'oxygène de l'air est moins complète, et dans toutes nos expériences nous avons en moyenne dépouillé l'air sec du tiers de l'oxygène qu'il contient, en saturant à peu près exactement la baryte. Nous n'avons même bien réussi qu'en employant, pour fournir le vent, la petite trompe (Pl. III, *fig.* 1) dont nous avons donné déjà la description. En sortant de la trompe avec une vitesse constante de 600 litres à l'heure, l'air doit être desséché et privé d'acide carbonique, en traversant un réservoir rempli de chaux vive : l'acide carbonique produit encore un plus mauvais effet que l'eau, car le carbonate de baryte, fusible comme l'hydrate, est en outre moins décomposable par l'oxygène. Nous pensons qu'avec ces précautions la baryte, quand elle sera introduite dans le commerce au bas prix que les expériences de M. Kuhlmann doivent faire considérer comme très-prochainement réalisable, sera applicable à la production de l'oxygène. En huit à dix opérations, elle donnerait les trois quarts de son poids d'oxygène ou 50 mètres cubes d'oxygène par 100 kil. de baryte calcinée. La baryte devrait alors être révivifiée par l'acide nitrique, et l'on trouverait 1/10 de cet acide en lavant avec de la baryte à révivifier les gaz provenant de la décomposition du nitrate.

La quantité d'air *à peu près* sec qu'il faudrait faire passer dans les appareils, pour la production intermittente du bioxyde de barium et la préparation de 50 mètres cubes d'oxygène (cet oxygène est très-pur), serait de 750 mètres cubes, d'après nos expériences effectuées sur 5 kil. de baryte.

Appareil en grand.

L'appareil lui-même serait très-simple : il se composerait de 4 bouteilles disposées et chauffées comme celles qui servent au manganèse. Seulement on devrait

y adapter, comme nous l'avons fait pour nos expériences avec la bouteille à mercure, un tube de fer partant du col et se rendant au fond de la couche de baryte. Les appareils figurés dans la Pl. IV, *fig.* 3, ainsi modifiés et contenant 100 kil. de baryte, seraient alternativement chauffés au rouge et traversés par un courant d'air sec, puis chauffés au rouge vif et mis en communication directe avec le gazomètre sans l'intermédiaire d'aucun autre appareil que le barillet, qui rend chaque partie indépendante des autres. Après l'expulsion de l'oxygène, on peut immédiatement faire passer l'air en ôtant le feu : le refroidissement dû au courant rapide de gaz et à la cessation de toute combustion sur la grille, les registres étant tout à fait fermés, sera, d'après notre estime, bien suffisant pour déterminer au bout de quelques instants l'absorption de l'oxygène de l'air. Il est certain même que cette suroxydation ne se complétera qu'à la condition de maintenir la température en brûlant un peu de charbon sur la grille.

Pour opérer d'une manière certaine, il faudrait avoir deux fours et deux systèmes d'appareils complets. La reproduction du bioxyde est beaucoup plus longue et dépense même plus de combustible que la décomposition de ce même oxyde, quand le four est monté à la chaleur convenable. Dans nos bouteilles à mercure, cette seconde partie de l'opération marchait avec une rapidité extrême.

Nous n'aurions pas hésité à employer ce procédé pour la préparation de l'énorme quantité d'oxygène que nous avons consommée dans nos expériences, et nous ne nous serions pas même arrêtés au prix considérable du nitrate de baryte que l'on trouve aujourd'hui dans le commerce, s'il ne nous avait fallu consa-

crer une somme encore plus considérable aux appareils destinés à la décomposition du nitrate de baryte. Cette opération est très-difficile, elle exige l'emploi de vases de fonte d'une grande capacité, et cette question, qui nous paraît aujourd'hui la seule à étudier, n'aurait peut-être pas réussi dans un laboratoire comme celui de l'École normale aussi bien qu'elle réussirait dans une usine en possession de ces cylindres épais de fonte dans lesquels on fabrique l'acide nitrique. C'est en effet dans les appareils de ce genre que doit s'effectuer la décomposition du nitrate de baryte. La baryte obtenue dans le fer est fortement colorée en noir, mais la quantité d'oxyde de fer correspondant à cette coloration intense est très-petite. A cette différence près, elle ressemble à la baryte de nos laboratoires.

VI° *Sulfate de zinc.* — Le sulfate de zinc, résidu de la production de l'électricité voltaïque, est une matière dont on cherche l'emploi aujourd'hui : on n'a jamais pensé à en extraire l'oxygène, qu'il fournit pourtant avec une extrême facilité. Nous allons en donner une preuve au moyen des expériences suivantes :

Essais d'appareils.

Nous avons pris du sulfate de zinc du commerce que nous avons desséché et que nous avons introduit dans une cornue de grès. Les gaz sortant de la cornue de grès se rendaient, par l'intermédiaire d'un petit tube de platine refroidi par un courant d'eau, dans un laveur à acide sulfureux représenté dans la *fig.* 4 de la Pl. IV, lequel sera décrit un peu plus tard, lorsque nous parlerons de la décomposition de l'acide sulfurique. L'acide sulfureux, l'un des produits de la décomposition du sulfate de zinc, s'y condense, et l'oxygène se rend dans un compteur à gaz ou dans un gazomètre gradué. La cornue doit être chauffée au rouge un peu plus clair que si l'on voulait décomposer du manganèse, et l'on

y trouvera à la fin de l'opération de l'oxyde de zinc très-léger, légèrement coloré en jaune et qui ne retient plus que des traces d'acide. Il distille un peu d'eau, et à la fin, on trouve dans le tube de platine un peu d'acide sulfurique fumant. La cornue après l'opération est parfaitement intacte : l'oxyde de zinc, en effet, ne se combine que très-difficilement avec la silice, comme on va en avoir la preuve.

La température employée n'était pas assez forte pour que, sur la grille du fourneau, les cendres du coke se convertissent en mâchefer; nous l'estimons à peu près égale à la température de fusion de l'argent : c'est le rouge franc.

Voici les résultats de cette opération : Rendements.

Sulfate de zinc du commerce cristallisé. . . .	1.000 grammes.
Desséché à 200 ou 300° (il contient encore 3,5 p. 100 d'eau).	582
Résidu d'oxyde de zinc.	287
On a pris de cet oxyde de zinc.	100
qui, lavés, ont laissé dissoudre : sulfate de zinc.	0,70
On a obtenu : oxygène.	38 litres.
Oxygène calculé.	38,7
Perte en oxygène p. 100.	0,2

La composition du résidu était :

Oxyde de zinc.	99,3
Sulfate de zinc.	0,7
	100,0

Nous pensions qu'en ajoutant de l'argile broyée à du sulfate de zinc cristallisé, faisant un mélange qui se liquéfie à 100° et devient très-intime en se desséchant, nous aurions de meilleurs résultats, ou plutôt que nous pourrions abaisser beaucoup la température de la dé- Sulfate de zinc avec argile.

composition ; il n'en a pas été ainsi, comme on le verra par les deux expériences suivantes :

1°	Sulfate de zinc cristallisé		1.000 grammes.
	Argile.		300
	Mélange desséché.		905
	Oxygène obtenu.		35^lit,5
	Résidu d'argile et d'oxyde de zinc.		551 grammes.
	Sulfate de zinc non décomposé, p. 100	4,0	
	Perte en oxygène. . . . . »	7,9	
	Acide sulfurique. . . . . »	3,9	
2°	Sulfate de zinc cristallisé		1.000
	Argile.		680
	Mélange desséché.		1.150
	Sulfate de zinc échappé à la décomposition, p. 100.	7,4	

Avec sable. Le sable nous a donné encore de plus mauvais résultats : en chauffant 2 parties de sulfate de zinc desséché et 1 partie de sable siliceux à une température rouge, nous n'avons décomposé que 64 pour 100 de sulfate de zinc, et il s'est formé très-peu de silicate de zinc.

Ainsi 100 kil. de sulfate de zinc anhydre, d'après nos expériences, donneront 6^mc,8 d'oxygène, c'est-à-dire beaucoup plus que le meilleur manganèse du commerce, en laissant un résidu utilisable (pour la peinture ou la fabrication du zinc) de 51 kil. d'oxyde de zinc et en produisant 22 kil. d'acide sulfureux, dont l'emploi pourrait se trouver, comme nous l'indiquerons plus loin.

Les appareils de fabrication en grand seraient très-simples : on emploierait une cornue à gaz de petite dimension ou des cornues à zinc de la Vieille-Montagne, posées horizontalement dans un four, et les gaz, lavés dans l'appareil déjà décrit pour le manganèse, ou dans ceux que représente la *fig.* 4 de la Pl. IV, et dont nous

allons parler, se rendraient dans le gazomètre de la *fig.* 1 (Pl. IV). Les appareils de fermeture employés pour les cornues à gaz, et adaptés à des appareils plus petits, conviendraient parfaitement à cette fabrication. Les dispositions que nous avons décrites, et qui nous permettent d'obtenir les gaz, sans produire de pression dans les appareils générateurs, rendent très-facile l'emploi des cylindres de terre de grande dimension.

Avantages de l'acide sulfurique, comme source d'oxygène.

VIII° *Acide sulfurique.* — L'acide sulfurique a la propriété de se décomposer au rouge naissant, d'une manière complète, en acide sulfureux et oxygène. L'acide sulfureux est très-fréquemment employé dans l'industrie soit à l'état de dissolution aqueuse saturée, soit à l'état de sulfite de soude, soit à l'état d'hyposulfite de soude qu'on obtient au moyen du sulfite de soude et du soufre. Pour tous ces usages l'acide sulfureux pur et dépouillé d'azote s'obtient par la décomposition de l'acide sulfurique par un corps réducteur : il était donc naturel d'essayer de préparer de l'acide sulfureux en utilisant l'oxygène. En y réfléchissant bien, nous avons vu que l'oxygène préparé avec le manganèse est encore à un prix tel que, même en perdant l'acide sulfureux, nous pouvions essayer d'obtenir le gaz avec bénéfice par la décomposition de l'acide sulfurique. En effet, l'acide sulfurique à 60° (densité 1,69), préparé par les pyrites, et tel qu'on l'obtient par l'évaporation dans le plomb, ne revient pas à plus de 5 à 6 fr. les 100 kil. ; et comme ces 100 kil. contiennent 64 kil. d'acide anhydre, produisant 13 kil. ou 9 mètres cubes d'oxygène, il s'ensuit que l'oxygène pris dans l'acide sulfurique ne coûte guère que 0f,66 le mètre cube, c'est-à-dire beaucoup moins que dans toute autre substance connue, sauf peut-être le sulfate de zinc. D'ailleurs l'équivalent d'acide sulfureux dans les sulfites et

les hyposulfites ayant une valeur bien plus considérable que l'équivalent d'acide sulfurique anhydre de l'acide à 60°, on pourrait concevoir qu'une industrie qui utiliserait l'oxygène pur pourrait préparer ce gaz comme produit dérobé de sa fabrication. Ces réflexions nous portent à engager les industriels qui peuvent améliorer leur fabrication en employant l'oxygène, à considérer désormais ce gaz comme étant tout à fait à leur portée par la facilité de sa production, et surtout par le prix de son équivalent qui est 6 fois moindre que celui du chlore, ce gaz valant 0f,66 le kilogramme $\left(\frac{8}{35,5 \times 1,43} = \frac{1}{6,3}\right)$. Il est clair que si on pouvait l'emprunter directement à l'air, l'oxygène pur serait aujourd'hui d'un usage journalier. Pour l'éclairage en particulier, on s'en servirait très-fructueusement pour obtenir une lumière très-brillante : nous avons vu fonctionner chez MM. Rousseau frères, fabricants de produits chimiques à Paris, des lampes à flamme éclatante, alimentées par du gaz oxygène, dont l'emploi était fort peu coûteux et le pouvoir éclairant considérable. Cependant ce gaz, préparé en petite quantité dans leur usine au moyen du manganèse, ne leur coûtait pas beaucoup moins de 10 fr. le mètre cube, prix auquel ils le vendaient enfermé dans de grands sacs de caoutchouc. La densité très-grande de l'oxygène par rapport au gaz de l'éclairage, la facilité avec laquelle on peut l'emprisonner dans les réservoirs où l'on comprime le gaz portatif, son innocuité absolue, détermineront peut-être des essais dans ce sens que nos travaux sur la matière rendront possibles, nous l'espérons.

A. *Appareils de décomposition de l'acide sulfurique.* — Cet acide se transforme au rouge presque sombre en acide sulfureux, eau et oxygène. Quand on veut obtenir

un dégagement rapide dans des vases de dimensions restreintes, ce qui est toujours plus commode, il faut dépasser un peu la température rigoureusement nécessaire et multiplier considérablement le contact de l'acide avec les surfaces échauffées.

Appareils construits.

Nos premières expériences ont été faites dans une cornue en grès tubulée, semblable à celle que nous représentons dans la *fig.* 4 de la Pl. IV. Cette cornue C avait une capacité de 10 litres, elle était pleine de fragments de brique réfractaire qui résiste indéfiniment à l'action de l'acide sulfurique. Un tube de fer F, surmonté d'un tube en S, laissait arriver l'acide provenant d'un flacon de Mariotte M, muni d'un robinet de verre, jusqu'au fond de la cornue. Un tube de cuivre T, entrant à frottement dans un bouchon en charbon de cornue B, amenait les vapeurs dans un serpentin A. L'appareil ainsi construit fonctionnait très-bien en donnant une vitesse de 150 litres à l'heure. Mais il vaut mieux d'abord remplacer le tube de fer par un tube de platine scellé dans la tubulure de la cornue au moyen d'un lut en terre à poêle et poil de vache, maintenu par des tessons de porcelaine et recouvert par une enveloppe E ou tube en grès qui le protége contre le contact des charbons et de la flamme. Nous avons ensuite remplacé le tube en cuivre T, par un petit tube en platine, en le mastiquant avec du lut argileux dans le bouchon en charbon de cornue B, et en lutant celui-ci également au col de la cornue avec un mélange de terre à poêle et de bourre de vache. Enfin, nous avons diminué considérablement le volume de la cornue en l'emplissant avec des lames minces de platine accumulées depuis la panse jusqu'aux parties du col qui sont encore rougies par le feu. Ainsi, avec une cornue de 1 litre seulement, nous avons obtenu une vitesse de 60

Acide sulfurique.

litres à l'heure. Avec une cornue de 5 litres on irait facilement à la vitesse de 200 litres à l'heure. C'est la disposition à laquelle nous nous sommes arrêtés et qui a été représentée dans notre figure.

Appareil préférable.

Mais l'appareil le plus commode, et sans doute le plus économique, sera un tube de platine recourbé en forme de serpentin ou d'hélice dont le pas sera aussi petit que possible, serpentin rempli de mousse de platine et chauffé par une flamme oxydante de coke ou de bois. Dans le serpentin, l'acide devra tomber sur une petite capsule de platine mobile sur laquelle il s'évaporera pour y laisser les traces de sulfate de plomb qu'il peut contenir, et qui n'a d'ailleurs aucune action sur le platine dans une atmosphère d'oxygène. L'acide arsénieux ne sera pas plus nuisible.

Séparation de l'eau.

B. *Réfrigérant.* — L'eau volatilisée avec l'acide sulfureux et la petite quantité d'acide sulfurique échappée à la décomposition se condensera dans le serpentin en plomb A et s'écoulera dans le vase florentin D. La jonction entre le tube de platine T et le tube de plomb du serpentin se fait au moyen d'un tube de caoutchouc et en un point tel que l'eau du réfrigérant puisse mouiller partout et refroidir la surface du caoutchouc : celui-ci, en négligeant cette précaution, s'échaufferait d'une manière dangereuse au contact des gaz qui s'y meuvent avec une rapidité considérable.

Séparation de l'acide sulfureux.

C. *Purification.* — L'acide sulfureux se sépare de l'oxygène d'une manière absolue par le lavage à l'eau qui retient 50 fois son volume du gaz acide. Cette séparation peut se faire soit dans le laveur employé pour la purification de l'oxigène du manganèse (Pl. IV, *fig.* 5), soit au moyen d'un flacon (Pl. IV, *fig.* 4) de 12 à 15 litres plein de gros morceaux de ponce sur laquelle on fait couler constamment un large filet d'eau réduite en

pluie par une pomme d'arrosoir en plomb ou en cuivre G. L'eau s'échappera par le tube recourbé L, dont on mettra l'ouverture au niveau de l'extrémité N du tube qui amène l'acide sulfureux et l'oxygène. On pourra, au moyen du tube d'écoulement de l'eau dans le gazomètre T (Pl. IV, *fig.* 1), maintenir dans le flacon H une pression moindre que la pression extérieure; alors l'eau s'élèvera dans le flacon H d'une quantité constante et déterminée à l'avance, le gaz barbotera ainsi au travers du liquide sans que la pression s'élève dans la cornue et sans que l'air puisse rentrer par le tube L, par où l'eau venant de R s'échappe à plein canal. Si l'on veut faire arriver, non pas de l'eau, mais une lessive alcaline caustique pour préparer du sulfite ou du bisulfite de soude, il sera prudent de relever un peu le niveau du tube L de manière à maintenir une pression de 1 centimètre d'eau environ dans la cornue, parce que le liquide alcalin venant du robinet R et devant couler avec lenteur pour se saturer, ou même se sursaturer, la moindre diminution accidentelle et subite de pression dans le gazomètre pourrait provoquer la rentrée d'un peu d'air par le tube L. Enfin le gaz va barboter dans un peu de lessive de soude mise dans un flacon I, qui sert surtout à montrer la vitesse du gaz et à recevoir un petit manomètre K qui en mesure la pression. Du flacon I le gaz se rend dans le manomètre.

Conduite de l'opération.

La cornue sera chauffée au rouge franc par du coke; et la chaleur devra être d'autant plus élevée que l'on voudra obtenir plus d'oxygène dans le même temps. Il faudra tenir l'eau du serpentin très-fraîche à cause du caoutchouc plongé dans l'eau qui réunit le tube de plomb au tube de platine et qui ne doit pas s'échauffer. L'appareil de purification (flacon H) a été disposé pour le cas où l'on voudrait perdre l'acide sulfureux, ce qui

arrivera le plus souvent quand on préparera de l'oxygène dans une fabrique de platine. Si, au contraire, on veut le recueillir à l'état de dissolution concentrée, on remplacera le flacon par le laveur de la *fig*. 5, Pl. IV. On y fera arriver de l'eau avec une vitesse de 2 litres pour chaque centaine de litres d'acide sulfureux produit. Il en est de même pour la fabrication du sulfite de soude. On fera passer de la lessive caustique dans le laveur avec une vitesse telle que le liquide sortant soit à l'état de bisulfite sursaturé d'acide sulfureux. On mettra ensuite dans cette liqueur du carbonate de soude sec jusqu'à ce qu'elle soit transformée en sulfite neutre, qu'on obtiendra ainsi avec le degré de concentration que l'on voudra et le plus économiquement possible.

Résultats. Voici le résultat de quelques-unes de nos expériences :

Densité de l'acide employé	1,825
Volume de cet acide	1^lit^,65
Poids de cet acide	3^kil^,01
Oxygène produit	300 litres.
Oxygène calculé en supposant la décomposition complète	314
Acide non décomposé	4,5 p. 100.

Composition de l'acide primitif.

	kil.
Acide anhydre	2,26
Eau	0,75
	3,01

	kil.	
Acide anhydre échappé à la décomposition	0,102	11,9
Eau de l'acide primitif	0,750	88,1
Acide faible recueilli	0,852	100,0

dont la densité est 1,10 et le degré au pèse-acide de Baumé 17°,5. Nous avons en effet trouvé par expérience

17°,5 pour le degré de l'acide accumulé dans le vase florentin.

Une autre expérience faite le même jour, dans le même espace de temps et avec une vitesse plus grande, nous a donné de moins bons résultats :

Acide employé.	4^{kil},31
Oxygène obtenu.	400 litres.
Oxygène calculé.	452
Acide non décomposé.	11,5 p. 100.

Composition de l'acide recueilli.

Acide anhydre.	27,4
Eau.	72,6
	100,0

dont la densité est de 1,25.

Il y a donc pour chaque capacité d'appareil une vitesse qu'il ne faut pas dépasser si l'on veut obtenir le meilleur rendement possible.

Ces expériences ont été faites avec une cornue de 10 litres remplie de briques ; les suivantes dans une cornue de 1 litre remplie de feuilles de platine.

Acide sulfurique à 1,826. . .	2^{kil},437
Oxygène produit.	240 litres.
Oxygène calculé.	255
Acide non décomposé. . . .	5,8 p. 100.
Densité.	1,13

Composition de cet acide.

Eau.	85	Degré calculé. . . .	17°
Acide anhydre. .	15	Degré observé. . . .	17°,5
	100		

Acide sulfurique à 60° ou à 1,691 de densité.

Acide sulfurique employé. . .	1 kil.
Oxygène recueilli.	140 lit.
Oxygène calculé.	160
Acide non décomposé.	6,7 p. 100.

Composition de l'acide recueilli à une densité de 1,13.

Eau........	84,2	Degré calculé...	17°
Acide anhydre..	15,8	Degré observé...	17°,5
	100,0		

Ainsi l'on voit que l'acide à 60° donne les mêmes résultats que l'acide à 66° du commerce, dont l'équivalent en acide anhydre est beaucoup plus coûteux à cause des vases de platine qu'il faut employer pour sa concentration.

Concentration des acides faibles condensés.

Les acides faibles condensés dans le réfrigérant peuvent être exposés dans une capsule de plomb à la chaleur perdue du four dans lequel on chauffe la cornue. Ils se concentrent très-rapidement jusqu'à prendre une densité correspondante à 61° Baumé, ou 1,695 environ, état de concentration qu'on ne peut dépasser dans le plomb et qu'on obtient d'ailleurs à très-bas prix avec l'acide des chambres qui marque ordinairement 53°.

Régularité de l'opération.

Ce qu'il y a de remarquable dans cette opération, c'est la constance dans la production de l'oxygène et sa continuité. Si l'on mesure à une époque quelconque le dégagement de l'oxygène, on le trouve toujours le même, et en multipliant la vitesse à l'heure ainsi calculée par le nombre d'heures qu'a duré l'opération, on trouve toujours une coïncidence parfaite entre les résultats prévus et les résultats observés.

On remarquera en outre que toutes les pièces de l'appareil sont conçues de manière à pouvoir servir d'une manière continue et sans qu'on ait besoin de les démonter jamais. Quand la cornue de terre sera remplacée par un serpentin de platine, sa durée sera indéfinie. Si le serpentin de platine est chauffé par le gaz d'une grande ville, l'appareil peut marcher nuit et jour,

sans aucune surveillance, une fois qu'on aura déterminé la vitesse de l'acide et la pression dans le gazomètre.

Enfin si, l'opération terminée, on a soin de fermer toutes les portes du fourneau de manière à laisser refroidir la cornue de terre très-lentement, elle ne se casse pas au moment où on la réchauffe pourvu qu'on monte la chaleur avec précaution; et même alors l'opération peut être intermittente sans qu'on soit obligé de remplacer la cornue.

Prix de revient.

Quant au prix de revient de cet oxygène, il doit être calculé sur le prix d'achat de l'acide sulfurique (1). En portant à 7 ou 8 kilogrammes de coke ou de houille la quantité de combustible dépensé par mètre cube, on aura un maximum qui ne fera jamais monter le prix du mètre cube à plus de 1 franc, y compris la main-d'œuvre. C'est désormais à ce prix, ou plutôt par prudence, au double de ce prix, que nous compterons l'oxygène destiné à la fabrication du platine, bien entendu en supposant l'acide sulfurique perdu pour le fabricant (2).

Réoxydation de l'acide sulfureux.

Si l'on fait rendre l'eau de lavage saturée d'acide sulfureux dans le générateur de vapeur qui alimente les

(1) L'acide sulfurique anhydre donne $\frac{1}{5}$ de son poids d'oxygène, soit 20 kilogrammes ou 14 mètres cubes à 0° et 760 millimètres pour 100 kilogrammes. L'acide à 54° des chambres de plomb contient 50 p. 100 d'acide anhydre.

(2) L'oxygène préparé avec l'acide sulfurique est parfaitement pur, et présente sous ce rapport un avantage considérable sur l'oxygène préparé par le manganèse qui contient toujours de l'azote. Les essais qualitatifs que nous avons tentés ont confirmé complétement nos prévisions à cet égard. Bien plus, nous pensons que pour préparer de l'oxygène chimiquement pur dans les laboratoires, le procédé le plus commode consistera dans la décomposition par le feu de l'acide sulfurique concentré, qu'il est si facile de se procurer à l'état de pureté absolue.

chambres de plomb d'une fabrique d'acide sulfurique, on transforme l'acide sulfureux en acide sulfurique aux dépens de l'oxygène de l'air. Nous avons calculé qu'il suffisait de brûler dans le four à soufre d'un appareil à acide sulfurique le double du soufre que renferme la dissolution concentrée d'acide sulfureux pour pouvoir utiliser entièrement ce dernier gaz, de sorte qu'une fabrique pourrait, sans augmenter sensiblement sa dépense, consacrer le tiers de l'acide sulfurique qu'elle produit à la préparation de l'oxygène.

Quant au prix de revient calculé sur ces bases, il est tellement faible, que nous n'osons en donner le chiffre, même approximatif. En effet, on n'a plus à compter dans ce prix que la valeur des petites quantités de charbon nécessaires pour maintenir au rouge un appareil de faible dimension, et de nitrate de soude servant à fixer sur l'acide sulfureux l'oxygène de l'air; car ce procédé consiste au fond à emprunter par voie indirecte l'oxygène à l'air atmosphérique.

§ II. *Préparation de l'hydrogène* (1).

Nous avons toujours préparé notre hydrogène dans un appareil Desbassayns de Richemond : mais pour produire couramment une grande quantité de ce gaz, l'acide sulfurique et le zinc sont des matières premières d'un très-haut prix. On pourrait bien remplacer le zinc par le fer et obtenir ainsi de l'hydrogène et du sulfate de fer qui a une valeur commerciale suffisante pour couvrir tous les frais de cette fabrication (2). Mais encore il faut

(1) Voir, pour ce qui concerne cette question, notre premier mémoire (*Annales*, t. XVI, p. 428).

(2) D'après des renseignements que nous devons à M. Lissenko, on peut s'assurer que l'hydrogène préparé avec du fer

employer un gazomètre pour recueillir cet hydrogène, et c'est un inconvénient, parce que ce gazomètre exige un emplacement assez considérable et des dépenses de premier établissement qu'il est inutile de s'imposer lorsqu'on veut produire seulement de petites quantités de gaz.

Nous avons donc songé à préparer ce mélange d'hydrogène et d'oxyde de carbone qu'on appelle le gaz de l'eau (1) et qui est incontestablement le plus économique de tous (2), et à le préparer dans des vases de petite dimension et au moyen d'un appareil qui permît de régler la vitesse du gaz à volonté. Pour cela il nous a suffi de remplacer la vapeur d'eau qu'on introduit ordinairement dans des cylindres de fonte pleins de coke rougi, par un filet d'eau liquide alimenté par un vase de Mariotte et commandé par un robinet. Gaz de l'eau.

Voici l'appareil donnant une vitesse maximum de 300 litres que nous avons monté dans le laboratoire de Appareil à production régulière.

---

et de l'acide sulfurique ne coûterait rien à Saint-Pétersbourg. Dans cette ville, en effet, on fabrique et l'on vend une assez grande quantité de sulfate de protoxyde de fer hydraté, préparé avec les éléments suivants :

Acide sulfurique à 45°.	10^{f},62 les 100 kilog.
Le fer.	10^{f},60 les 100 kilog.
Le sulfate de fer hydraté valant.	15^{f},00 les 100 kilog.
Le prix des matières premières de ce sulfate de fer est seulement de.	9^{f},62 les 100 kilog.

Mais l'évaporation de ce sulfate et les soins de sa préparation seraient peut-être une annexe mal placée dans une fabrique de platine.

(1) La première idée de cette application appartient à M. Dumas, qui avait conseillé à Selligue de produire, au moyen de l'eau et du charbon, un gaz combustible rendu éclairant par des hydrogène, carbone volatils; elle a été réalisée, en effet, par cet habile industriel.

(2) D'après les renseignements qu'a bien voulu nous donner M. Christofle, le gaz de l'eau qu'il a employé longtemps pour l'éclairage de ses ateliers lui revenait à 0^{f},15 le mètre cube.

l'École normale. Une bouteille à mercure contenant $1^{kil},130$ de coke en petits fragments, était couchée horizontalement dans un fourneau chauffé au coke. Les deux bases du cylindre qui forment la bouteille à mercure étaient percées de deux trous laissant passer deux canons de fusil. L'un, plein d'amiante non tassée, laissait arriver par un tube en U un filet d'eau venant d'un vase de Mariotte muni d'un robinet, comme le vase M de la *fig.* 4 (Pl. IV). L'amiante s'imbibait d'eau, et par la chaleur que lui communiquait le foyer se desséchait avec régularité et par conséquent mettait obstacle à toute introduction brusque d'eau liquide dans l'intérieur de l'appareil. Cette disposition a la plus grande importance pour la régularité du dégagement du gaz, qui est ici ce que l'on veut obtenir avant tout. L'autre canon de fusil communiquait avec le serpentin et le laveur de la *fig.* 4 (Pl. IV) ; et le gaz ainsi refroidi et lavé se rendait, en passant par un compteur, dans le chalumeau d'un four à fondre le platine.

Purification. L'eau qui tombe sur l'amiante arrive à l'état de vapeur sur le charbon, s'y transforme en un mélange d'hydrogène, d'oxyde de carbone et d'un peu d'acide carbonique : l'eau en excès reste dans le serpentin, l'acide carbonique se dissout dans la soude du laveur, et le gaz mesuré par le compteur sert directement à la fusion du

Composition du gaz. platine. Ce petit appareil de 5 litres de capacité nous donnait, avec une vitesse constante de 304 litres à l'heure, un gaz composé, avant d'être dépouillé d'acide carbonique par le laveur, de :

Hydrogène	53,2
Acide carbonique	6,5
Oxyde de carbone	40,2
	100,0

Avec une vitesse de 240 litres seulement, le gaz contenait :

Hydrogène.	52,5
Acide carbonique.	5,0
Oxyde de carbone.	42,5
	100,0

En maintenant l'appareil à basse température on aurait pu avoir, comme on sait, de l'hydrogène presque pur et de l'acide carbonique. C'est la condition qu'il faudrait réaliser, si l'on absorbait l'acide carbonique par de la chaux éteinte répandue sur du foin et enfermée dans un vase à fermeture hydraulique, comme on le fait lorsqu'on veut préparer le gaz de l'eau pour l'éclairage.

Pour obtenir 2 à 3 mètres cubes à l'heure avec cet appareil, il faudrait : 1° un cylindre de 20 à 30 litres au plus de capacité ou bien deux cylindres de 20 litres chacun chauffés dans le même foyer, l'un par la flamme perdue de l'autre. Ces cylindres en fonte, chauffés à basse température, ont une durée presque indéfinie.

Le laveur serait remplacé dans ce cas par un cylindre plein de chaux éteinte et à fermeture hydraulique, appareil bien connu, dont la description ne peut être donnée dans ce mémoire.

On donne au gaz une vitesse constante en ouvrant le robinet d'arrivée de l'eau d'une quantité déterminée à l'avance. La vitesse du gaz varie avec une admirable précision de la même manière que la vitesse d'écoulement de l'eau, pourvu qu'on ne dépasse pas la quantité d'eau maximum que les cylindres pleins de charbon peuvent décomposer entièrement. Cette limite, pour notre petit appareil de 5 litres de capacité, était de

300 litres. On arrivait difficilement à 400 litres par heure, et alors la régularité cessait d'être parfaite.

Fusions par le gaz de l'eau.

Nous avons observé que la fusion du platine au moyen du gaz extrait de l'eau se faisait à peu près aussi bien (1) qu'avec l'hydrogène pur extrait du zinc et incomparablement mieux qu'avec le gaz de l'éclairage de Paris qui nous a servi dans toutes nos expériences de fusion, soit de platine, soit de minerai de platine. L'emploi de ce combustible équivaudra donc à une économie d'oxygène assez considérable. En somme, nous croyons que la fusion du platine effectuée au moyen du gaz de l'eau et de l'oxygène provenant de l'acide sulfurique diminuera notablement la consommation du combustible et du comburant, à cause de leur pureté absolue. Sous ce rapport, nous considérons comme devant être aussi considérablement diminuées les dépenses relatives à l'emploi des gaz dans le traitement du minerai et du platine lui-même, telles que nous allons les évaluer un peu plus loin.

Appareil de sûreté.

Nous avons insisté sur l'emploi direct du gaz de l'eau pour l'alimentation de nos chalumeaux. Il faudrait dans ce cas, pour se laisser toute liberté dans l'usage de ce gaz, établir sur un point quelconque de son parcours un petit appareil de sûreté, consistant en un tube en T dont une des branches plongerait dans un flacon contenant de 5 à 10 centimètres d'eau. Grâce à cette disposition, on pourra à volonté, sans changer la quantité d'eau liquide qui tombe dans le générateur et

(1) M. Dumas faisait autrefois, dans son cours de la Sorbonne, de très-concluantes expériences sur le pouvoir calorifique de l'oxyde de carbone qu'il avait trouvé très-comparable à celui de l'hydrogène. Il a fondu souvent de petites quantités de platine devant son auditoire avec de l'oxyde de carbone presque pur et de l'oxygène.

en règle la vitesse, manœuvrer les robinets du chalumeau qui donnent accès à l'hydrogène et même les fermer complétement. Quand le gaz trouverait une issue insuffisante ou même ne pourrait plus se dégager, il traverserait la couche de 5 à 10 centimètres d'eau du flacon, et se répandrait dans l'atmosphère. On ferait même bien de le diriger par un tube de caoutchouc hors du laboratoire, pour éviter la présence dans l'air de l'oxyde de carbone dont il est en partie composé, comme on l'a vu plus haut.

RÉSUMÉ ET CONCLUSIONS.

Nous avons proposé deux procédés pour le traitement métallurgique du platine, et nous les avons contrôlés par des expériences nombreuses : nous en résumerons les résultats en quelques lignes :

I° Le minerai de platine peut être traité par la galène et la coupellation. Cette méthode exige pour 100 kilogrammes de minerai : Prix de revient.

Galène [1]	100 kilog.
Plomb provenant de la fabrication courante [2]. .	50
Coupellation de plomb platinifère [3]	180
Affinage de platine plombifère [4].	90
Fusion du platine et moulage : platine obtenu [5].	80

[1] La galène contenant 82 p. 100 de plomb et 20 grammes d'argent par 100 kilogrammes vaut 35 francs les 100 kilogrammes : il faut la prendre exempte d'argent par économie, et d'antimoine pour faciliter les coupellations.

[2] Le plomb ne doit pas être compté dans le prix de revient, il doit provenir de la refonte des litharges, opération dérobée dont le prix très-minime est fort difficile à évaluer.

[3] La coupellation de 1.000 kilogrammes de plomb argentifère coûte 10 à 12 francs, ce qui porte à 2 francs environ la coupellation de 180 kilogrammes de plomb platinifère.

[4] L'affinage de 90 kilogrammes de platine plombifère consomme 16 mètres cubes d'oxygène, ce qui vaut 32 francs, en mettant à 2 francs le prix de l'oxygène et faisant rentrer dans ce prix exagéré la valeur du gaz de l'éclairage ou du gaz de l'eau qui est presque nulle. Un seul four contenant 15 kilogrammes de matière suffit à cette opération. Ce four, construit avec de la chaux dont la valeur est négligeable et en une demi-journée au plus, peut être évalué en maximum à 3 francs.

[5] La fusion de ce platine exige au plus 8 mètres cubes d'oxygène, soit 16 francs, et un four de 25 kilogrammes de capacité, estimé au plus à $3^{fr},50$ pour donner des lingots de 20 à 25 kilogrammes de platine.

Prix du traitement du minerai de platine.

Le traitement de 100 kilogrammes de platine par ce procédé revient donc en matières premières dont le prix comprend la main-d'œuvre :

Galène.	35 fr.
Coupellation.	2
Refonte des litharges.	»
Affinage du platine plombifère.	35
Fusion du platine et moulage.	19
	101

On n'a pas compté dans ce détail le traitement des crasses par l'appareil à deux creusets dont le prix ne peut être établi par des expériences de laboratoire et qui sera amplement compensé par la vente de 70 kilogrammes de litharge marchande résultant du traitement entier des 100 kilogrammes de platine. Cette litharge vaut 65 francs les 100 kilogrammes.

Chaque kilogramme de minerai de platine coûte donc par ce procédé 1fr,01 pour sa transformation en un alliage incomparablement supérieur au platine. En outre, le rendement est d'un dixième en sus du rendement par voie humide et donne par conséquent une plus-value de 6.000 ou 7.000 francs par 100 kilogrammes, ce qui non-seulement annule toute dépense par rapport à l'ancien procédé, mais encore produit un bénéfice de 6.000 à 7.000 francs par 100 kilogrammes de minerai, en comptant le platine en lames à 1.000 francs le kilogramme. Avantages sur l'ancien procédé.

Ce procédé, convenablement perfectionné, pourrait en outre donner du platine parfaitement pur, si l'on avait intérêt à en produire, ce qui est fort douteux.

II° Par le procédé de la fonte directe on a pour 100 kilogrammes de minerai : Prix du traitement.

1re fusion.	100 kilog.
2e fusion. . . . . 82 à	81
3e fusion.	80

La première fusion exige quatre fours de 15 kilogr. et 20 mètres cubes d'oxygène. La seconde et la troisième fusion exigent deux fours, l'un de 20 kilogrammes pour la seconde fusion, l'autre de 25 pour la troisième fusion, quand on voudra obtenir des lingots de 20 à 25 kilogrammes. La quantité d'oxygène nécessaire à ces deux dernières opérations est de 32 mètres cubes en maximum, de sorte que la dépense totale sera :

Oxygène, pour 100 kilog. de minerai.	104 fr.
Fours.	19
	123

Pour obtenir : Platine, 80 kil.,

soit 1f,23 par kilogramme de minerai.

Comparaison entre les deux nouveaux procédés et l'ancien.

La différence entre ces deux procédés n'est pas aussi désavantageuse au deuxième procédé qu'on peut le croire à l'inspection des deux chiffres de revient. Ici nous avons compté pour les fours une valeur relativement considérable, et supposé que chaque four ne peut servir qu'à un seul traitement. Mais en réalité la construction de ces fours est chose si facile, leur matière première a une si faible valeur, qu'on trouvera sans doute, en pratique, que nous avons doublé ou triplé leur prix et le nombre d'appareils nécessaires aux opérations. Cependant nous devons dire que la première fusion exigera au moins quatre fours : il ne faut pas espérer en diminuer le nombre. C'est pour la seconde, et surtout pour la troisième opération, que les four employés sans interruption à la fusion de grandes masses métalliques ou conservés dans des fragments de chaux serviront, pour ainsi dire, indéfiniment, avec quelques réparations insignifiantes.

Le bénéfice résultant de l'augmentation du rendement reste le même pour les deux procédés de voie sèche.

L'avantage considérable du second, c'est d'exiger des frais d'installation presque nuls. Un seul gazomètre de 3 ou 4 mètres cubes, si l'on veut traiter 10 à 20 kil. de minerai par jour, ce qui est énorme, suffit avec le gaz de l'éclairage des grandes villes ou un appareil de fabrication de gaz à l'eau, dont la cornue en fonte aura au plus 50 ou 60 litres de capacité, pour constituer l'outillage d'un pareil atelier. Il faudrait y ajouter un tour pour construire rapidement les petits fours en chaux de 15 kil. de platine.

Un seul ouvrier habile, sachant manier le chalumeau, suffira pour la conduite d'un pareil atelier, les autres opérations pouvant être livrées à de simples manœuvres,

tandis que la coupellation exige un homme expérimenté qui connaisse déjà cette opération, qui sache battre une coupelle, etc.

Prix du traitement.

III° Nous ne pouvons indiquer ici l'économie réalisée par le procédé intermédiaire dont nous avons parlé dans notre mémoire; elle dépend de la méthode employée et à laquelle on voudra la substituer. Elle supprime le sel ammoniac, les pertes par dissolution, et remplace la compression de la mousse par la fusion, qui nous semble devoir être moins coûteuse et plus facile, surtout pour les gros lingots. En outre, elle donne un rendement de beaucoup supérieur.

Prix de la révivification du platine usé.

IV° La fonte des minerais de Russie et la révivification du platine usé sont des opérations dans lesquelles la fusion remplace la dissolution d'une manière encore plus avantageuse (1). Elle a, de plus, l'avantage de dépouiller sans frais le platine de toutes les impuretés que les opérations chimiques ou l'usage ont pu y introduire accidentellement. Pour fondre 100 kil. de platine en lingots, il faut :

Oxygène, 10 mètres cubes.	20f,00
Un four en chaux servant presque indéfiniment	3f,50
	23f,50

Avantages.

Soit 0f,24 par kilogramme. La pureté du métal ainsi obtenu, l'homogénéité constante des lingots bien coulés sont encore un avantage considérable. En effet, on n'est pas toujours sûr, en préparant des lingots de platine par compression, d'avoir du platine qui, laminé et chauffé au blanc, ne se *bouillonne* pas à sa surface.

(1) Aujourd'hui le platine coûte, pour sa révivification par la voie humide, 250 francs par kilog., soit 25 p. 100 de sa valeur. La mise en lingots par notre procédé coûte 0f,24 par kilog., soit 1 millième seulement du prix actuel.

C'est la conséquence forcée de la méthode imparfaite employée pour la réunion des molécules métalliques. Dans toutes nos dernières fusions, nous sommes toujours arrivés à produire des lingots sans défaut, et cependant nous n'estimons pas bien haut notre habileté pratique. M. Quennessen, habile fabricant de platine de Paris, a très-bien réussi également dans notre laboratoire, et MM. Desmoutis et Chapuis, ses associés, réussissent chaque jour dans leurs ateliers. Un ouvrier intelligent serait bientôt plus habile que nous et plus vite au courant des progrès à réaliser. Nous croyons donc définitivement acquis à notre procédé un avantage nouveau et incontestable démontré par la pratique et fondé sur la bonne qualité des lingots de platine et du platine ouvré.

Nous serions extrêmement heureux et entièrement dédommagés de nos peines et d'un travail très-pénible de plusieurs années, si nos recherches amenaient comme résultat l'abaissement dans le prix d'un métal que les chimistes utilisent merveilleusement, et que son prix élevé empêche encore d'introduire en quantité suffisante dans nos laboratoires et dans les ateliers industriels. C'est d'ailleurs la seule récompense que nous ayons demandée; nous espérons l'obtenir en même temps que les bons sentiments de nos confrères, si nous réussissons à les mériter.

Récapitulation.

Pour faciliter la lecture de ce long mémoire, nous donnerons ici l'ordre suivi dans nos descriptions :

CHAPITRE Ier. — TRAITEMENT DES MINERAIS PAR VOIE SÈCHE.

§ I. — *Essais.*

§ II. — *Coupellation sur une échelle moyenne.*

I° *Attaque du minerai.*

II° *Coupellation.*

§ II. — *Hydrogène. Gaz de l'eau.*

RÉSUMÉ ET PRIX DE REVIENT. — CONCLUSIONS.

Échantillons produits à l'appui des conclusions de ce mémoire.

A l'appui de faits consignés dans ce mémoire, nous avons remis à M. Jacobi, à la date du 15 juin 1860 :

	gr.
1° Lames minces en alliage naturel coupellé, pour en démontrer la malléabilité.	142
2° Fil très-fin en alliage naturel coupellé, pour en démontrer la ductilité.	36
3° Roue dentée en alliage naturel coupellé et coulé dans le sable, pour démontrer la possibilité de mouler le platine.	560
4° Deux grandes lames d'alliage naturel coupellé et moulé dans la chaux, pour vérifier la qualité du métal coulé dans la chaux.	7.385
5° Lingot de platine monnayé fondu et coulé dans une lingotière de fer.	15.080
6° Lingot, alliage naturel obtenu par simple fusion. . .	12.020
7° Échantillon de plomb platinifère cristallisé sortant de la coupelle, à 20 p. 100 de plomb : platine contenu.	723
8° Mousse grillée ou platine plombifère après le rôtissage : platine contenu.	336
9° Deux plaques polies, alliage naturel coupellé. . . .	1.492
	35.774

Nous avions conservé à cette date :

Platine en lames, rognures, etc.	3.470
En alliage de plomb non coupellé et analysé.	256

En outre de ces matières, qui sont tenues à la disposition de M. Jacobi et de M. Kuppfer, par ordre du gouvernement russe, nous comptons une perte par explosion éprouvée pendant le grenaillage du platine, et dans laquelle nous avons mis à l'état de poudre impalpable et introuvable :

Platine des monnaies..	500
Minerai conservé comme échantillon.	80
De sorte que la quantité totale de platine produit dans le laboratoire de l'École normale a été.	42.080

Nous avons reçu tant en minerai à 80 p. 100 de rendement qu'en monnaie de platine. . . . 42.200

De sorte que la quantité de platine perdue par les opérations métallurgiques que nous avons si souvent recommencées a été à peine de 120 grammes, comme nous l'avons déjà dit.

Enfin, nous avons remis à M. Jacobi un lingot d'iridium fondu et coulé dans la chaux du poids de 1^{k},805 qui démontre l'intensité du feu développé par la combustion de l'hydrogène, et l'efficacité de nos fours en chaux pour en concentrer les effets même sur de grandes masses de matières métalliques.

PROGRAMME DES PRIX

PROPOSÉS PAR LA SOCIÉTÉ INDUSTRIELLE DE MULHOUSE, DANS SON ASSEMBLÉE GÉNÉRALE DU 30 MAI 1860, POUR ÊTRE DÉCERNÉS EN MAI 1861 (1).

ARTS CHIMIQUES.

I.

MÉDAILLE D'ARGENT, *pour l'explication théorique de la fabrication du rouge d'Andrinople.*

L'auteur devra expliquer les effets chimiques de l'huilage, du passage au sumac ou à la noix de galle, de l'alunage, de la teinture et de l'avivage.

Il serait intéressant que ce travail fût accompagné d'un précis historique sur l'introduction de ce genre de teinture en France.

II.

PRIX DE 2.600 FR., OU MÉDAILLE D'OR, D'ARGENT OU DE BRONZE, *pour la découverte ou l'introduction d'un procédé utile à la fabrication des toiles peintes.*

On connaît tout le parti qu'on a tiré des chromates. Un autre sel métallique ne pourrait-il pas fournir aussi des résultats avantageux ?

Nous indiquerons encore :

1° Un moyen économique de produire l'effet du savon sur les couleurs garancées, par l'emploi d'une substance moins chère.

2° Appliquer sur toile de coton une nouvelle substance colo-

(1) Quelques articles du programme original n'ont pas été reproduits, les uns, parce qu'ils présentent un intérêt presque exclusivement local, les autres comme s'écartant trop du cadre des *Annales des mines*. C.

rante, de quelque nature qu'elle soit, solide aux acides faibles et aux alcalis.

3° Introduire dans le département du Haut-Rhin la culture en grand, d'une plante ou d'un insecte servant à la teinture de la laine, de la soie ou du coton, et qui jusqu'à présent aurait été tiré de l'étranger, ou d'un département non limitrophe.

4° Trouver une décoction végétale de couleur verte, qui résiste à l'action des dissolutions d'étain, et qui puisse servir comme vert d'application sur coton, laine et soie.

5° Trouver un moyen propre à abréger le temps nécessaire à l'huilage des toiles, ou des fils de coton destinés à la fabrication du rouge d'Andrinople.

6° Augmenter la solidité des couleurs d'aniline et de naphtaline, par des moyens propres à l'impression sur coton, sans altérer les qualités physiques du tissu.

III.

MÉDAILLE D'OR, *pour un alliage métallique, propre à servir pour racles de rouleaux, et qui réunisse à l'élasticité et à la dureté de l'acier, la propriété de ne pas être attaqué par les couleurs contenant des dissolutions de cuivre et de fer, en fortes doses : ou pour un moyen galvanique ou autre d'empêcher l'action chimique des couleurs, sur les racles d'acier.*

Les racles de composition, qu'on a tenté jusqu'à présent de substituer aux racles d'acier, pour l'impresion des couleurs fortement chargées de dissolutions de cuivre ou de fer, résistent suffisamment à l'action de ces dissolutions, mais elles sont trop molles et manquent d'élasticité ; aussi s'usent-elles promptement sur le rouleau, d'où résultent des inconvénients encore plus graves que ceux que présentent les racles d'acier.

. . . .

V.

MÉDAILLE D'ARGENT, *pour un moyen plus certain et plus pratique que ceux qui ont été proposés jusqu'à présent, de constater : 1° la sophistication d'une huile ; 2° la nature des huiles mélangées ; 3° la proportion dans laquelle le mélange a été fait, avec une approximation certaine d'au moins trois centièmes, en remplaçant autant que possible les pesées par l'usage des liqueurs titrées.*

Le procédé proposé devra être d'une manipulation facile, non-seulement pour un chimiste expérimenté, mais encore pour tout industriel ou commerçant s'occupant d'achat d'huiles.

La Société industrielle ayant déjà couronné deux mémoires qui traitent de ce sujet, a néanmoins remis la question au concours, parce qu'elle a pensé que les procédés indiqués dans ces mémoires ne possèdent pas encore le cachet réellement pratique d'un essai usuel.

Elle a donc voulu de nouveau appeler l'attention des chimistes sur cette question importante et délicate.

VI.

MÉDAILLE D'ARGENT, *pour une amélioration importante dans le blanchiment de la laine.*

Le blanchiment des laines est encore très-incomplet ; les opérations réitérées, par lesquelles on passe ou on aère les laines, suffisent à peine pour les dégraisser et pour réduire leur matière colorante, sans toutefois la détruire. Les laines d'apparence blanche tiennent cette qualité bien plus de celle de la matière première que de l'effet du blanchiment. Le procédé que nous exigeons devra réussir sur toutes les qualités de laines, sans adjonction de l'azurage complémentaire avec lequel on imite un faux blanc. Il devra supporter un vaporisage d'une heure, et ne pas nuire aux couleurs d'impression.

VII.

MÉDAILLE D'ARGENT, *pour le meilleur mémoire sur le blanchiment des toiles de coton écru.*

L'auteur devra présenter de nouveaux faits tendant à rendre le blanchiment plus expéditif et plus économique. Il s'appli-

quera surtout à déterminer le degré de solubilité de la matière colorante du coton dans les lessives des diverses forces et dans des savons, depuis 60 jusqu'à 181 degrés, température de 10 atmosphères. Il dira jusqu'à quel degré la solubilité progresse, et conclura de là la température la plus favorable pour blanchir.

Quelques praticiens font usage d'un système de lessives à haute pression, dans des appareils dispendieux et fort dangereux : il importe de vérifier si cette méthose est fondée sur les meilleures conditions de solubilité de la matière colorante, ou si la science la condamne.

VIII.

MÉDAILLE D'ARGENT, *pour une table des proportions chimiques des matières colorantes organiques.*

Ce travail devra donner, avec les proportions chimiques des principes colorants, celle des matières colorantes dans l'état eù le commerce les livre ; et, pour celles qui sont solubles, l'équivalent des décoctions à un degré aréométrique donné, tels que, 10 ou 20° A Bé, pour le campêche, les bois rouges, le quercitron, le fustet, le cuba, les graines de Perse, la gaude, la cochenille, l'orseille, etc.

De ces proportions devraient pouvoir se déduire celles de tel ou tel mordant pour la composition des couleurs ou pour la préparation des laques, comme se calcule la composition de tout sel dont on cherche l'acide, connaissant la base.

IX.

MÉDAILLE D'ARGENT, *pour un mémoire relatif aux mordants organiques naturels de la laine, de la soie, du coton, etc.*

Par mordant organique, nous entendons la substance qui, après teinture, retient sur la laine, la soie ou le coton non blanchi, les matières colorantes qui auraient nécessité des mordants.

On devra isoler ces mordants, définir leur différence, leur rôle. Les fibres végétales sont les seules qu'on soit parvenu à débarrasser de leur mordant organique. Dans cet état, le coton est tout aussi apte à être teint et à être imprimé ; en sera-t-il de même de la laine et de la soie ? Que sont les tissus du règne animal, dépourvus de leur mordant organique ? Est-ce cette substance qui rend ces tissus réducteurs ?

X.

MÉDAILLE D'OR, *pour un moyen de rendre les rouges de murexyde moins altérables aux émanations sulfureuses.*

Il est question des rouges de murexyde obtenus sur les tissus de coton, soit par teinture, soit par impression directe, soit par les moyens ordinaires d'impression au rouleau ou à la planche.

Les teintes fournies devront être aussi vives que celles qu'on prépare aujourd'hui ; et le procédé indiqué ne devra pas être sensiblement plus cher que celui actuellement en usage, tout en restant aussi pratique.

. . . .

XIV.

MÉDAILLE D'ARGENT, *pour la fabrication d'un outremer qui, épaissi à l'albumine et fixé à la vapeur de la manière ordinaire, n'éprouve aucune altération, et conserve une nuance claire et vive.*

Il est bien reconnu par les fabricants d'indiennes que beaucoup d'outremers n'ont plus la stabilité qu'ils avaient autrefois. Par le vaporisage, la nuance est sensiblement altérée et dégradée, et pour obvier à ce grave inconvénient, le fabricant est forcé d'avoir recours à des moyens de fixation qui sont plus onéreux et moins rationnels.

XV.

MÉDAILLE D'ARGENT, *pour la théorie du coton impropre aux couleurs, désigné sous le nom de* coton-mort.

Les toiles de coton colorées par la teinture d'un mordant imprimé, et par conséquent épaissi, présentent parfois des filaments qui n'ont pas retenu la couleur dont l'ensemble était recouvert. Ces filaments, qu'aucun caractère physique ne signalait, constituent alors, au milieu des masses colorées, des points blancs auxquels on assigne pour cause et origine la présence de *coton-mort.*

On a admis que ces fibres stériles (ou coton-mort) qui envahissent nos toiles, plus ou moins, selon l'espèce de la matière première, et qui se font jour plus facilement sous certaines compositions ou manutentions, pourraient provenir : de tubes obstrués, de torsion trop énergique, de nœuds d'articulations, d'une cellulose parasite, de brins avortés, etc. Il s'agirait d'expliquer ces faits, et surtout de préserver nos indiennes d'un inconvénient des plus graves.

XVI.

MÉDAILLE D'OR, *pour la découverte de l'acide oxynaphtalique, ou pour une préparation facile des acides chloroxynaphtaliques, ou enfin, pour un mémoire sur les applications des couleurs de Laurent à la teinture et à la fabrication des toiles peintes.*

Les travaux de Laurent sur la naphtaline ont ouvert dans les dérivés chlorés et chloroxydés de cette substance une mine de couleurs d'autant plus intéressantes que leur composition chimique vient se fondre dans celles de l'alizarine. Ce rapprochement, aussi remarquable que les couleurs mêmes de Laurent, provoqua chez les industriels français un sujet immédiat de recherches et d'applications de la plus haute importance, dont l'exploitation cependant reste paralysée par l'absence de la matière première dans le commerce, ainsi que par la longueur et les difficultés de sa préparation. Ce que l'on demande est donc le moyen d'exempter de ces inconvénients la préparation des acides chloroxynaphtalique et perchloroxynaphtalique; de pouvoir se procurer ces acides ou leurs sels à un prix qui, sous ce rapport, rivalise avec celui de l'alizarine, que l'on évalue en moyenne à 100 fr. le kil.

Pour appuyer de quelques exemples la richesse colorante de cette nouvelle source, on citera parmi les dérivés nitriques de la naphtaline :

La naphtase, produit de la distillation de la nitronaphtaline, qui colore l'acide sulfurique en bleu violacé ;

La binitronaphtaline, qui donne dans l'alcool saturé d'ammoniaque un composé cramoisi foncé ;

La trinitronaphtaline, dont les dissolutions alcalines sont rouges ;

La naphtylamine (naphtalidame de Zinin), ou nitronaphta-

line réduite, dont l'air et les réactifs oxydants colorent les sels du violet azuré au pourpre foncé (naphtaméine), et qui donnent avec l'acide sulfurique un bleu intense;

La nitronaphtylamine, ou naphtaline binitrée réduite, alcali rouge carmin;

Lazonaphtylamine, dont la dissolution sulfurique est d'un violet foncé stable;

Les thionaphtamates qui, sous des réactions acides, se colorent en rouge à la lumière ou par la chaleur;

L'acide sulfonaphtalidamique ou *naphtionique*, qui se décompose en une résine rouge violacée;

La série oxynaphtalique enfin, dans laquelle les chloroxynaphtalates en question proviennent de l'action de l'acide nitrique sur les chlorures de chloronaphtaline.

Les chloroxynaphtalates et *perchloroxynaphtalates* sont des sels de toute beauté, qui vont du jaune et de l'orange au cramoisi, et qui sont insolubles; ainsi:

Le chloroxynaphtalate de cuivre est cramoisi;

Le chloroxynaphtalate de plomb est rouge orangé;

Le chloroxynaphtalate de mercure est rouge brun;

Le chloroxynaphtalate de cobalt est vermillon;

Le chloroxynaphtalate de cadmium est vermillon;

Le chloroxynaphtalate de chrome est rouge.

Les acides chloroxynaphtaliques teignent parfaitement les mordants usuels.

Si, dans l'acide chloxynaphtalique $C^{20} H^5 Cl O^6$, ce seul équivalent de chlore pouvait être remplacé par l'hydrogène, on aurait l'acide oxynaphtalique ou alizarine $C^{20} H^6 O^6$, et partant la solution d'un problème de Laurent, qui ne se traduirait en rien moins pour la teinture qu'à pouvoir garancer avec des produits de la houille; produits qui fournissent toutes les matières organiques à la chaleur rouge.

XVII.

MÉDAILLE D'OR, *pour un procédé de teinture ou de fabrication de toiles peintes par les alcaloïdes.*

Une industrie qui consiste à colorer les tissus attache non-seulement de l'importance aux matières colorantes qu'elle rencontre toutes les formées, mais encore à toutes les réactions

chimiques qui indiquent des couleurs. Partout où il y a coloration, elle a la persuasion qu'il y a quelque chose pour elle, et que là même est son avenir. Les difficultés chimiques, pas plus que la rareté des substances, ne sont des obstacles absolus dans la fabrication des toiles peintes. La création d'une dizaine d'établissements préparant un produit qui, il y deux ans, ne se voyait encore que dans les tubes scellés des collections, ne montre-t-elle pas une de ces conquêtes industrielles, sous le rapport de la rareté de la matière première, autant que sous le rapport des difficultés de préparation? Est-ce donc placer le problème des alcalis organiques sous des auspices plus défavorables que ne l'était celui de la murexyde? La majeure partie de nos procédés ne reposent-ils pas déjà sur des réactions oxydantes; et c'est sous ces réactions précisément que les alcaloïdes décèlent les couleurs les plus recherchées. Deux alcaloïdes d'ailleurs font déjà partie de nos procédés de teinture : l'harmaline et l'aniline avec ses dérivés. Dans le nombre des bases qui restent, nous voyons d'abord celles de l'opium, la morphine et la codéine, qui produisent du rouge; la narcotine, du vert foncé avec l'acide sulfurique; la nitroméconine, du rouge avec les alcalis. Nous avons ensuite la strychnine, qui donne du violet; la dissolution nitrique de la brucine qui, par le chlorure stanneux, est ramenée du rouge au violet; la théobromine oxydée, qui colore l'épiderme en rouge et la magnésie en gros bleu; la sanguinarine, qui se colore en rouge dans les atmosphères à vapeurs acides; la nitronaphtylamine, qui est un alcali rouge carmin; la caféine dont les dérivés nitriques fournissent un homologue de l'acide urique; l'acide amalique, qui se colore en violet sous l'influence des alcalis et colore la peau en rose (murexoïne). L'alcali de la cigüe, la conine, passe du pourpre au bleu par l'acide chlorhydrique anhydre, et au rouge foncé par l'acide nitrique. Enfin dans les alcalis des quinquinas, la quinine qui avec l'eau chlorée et de l'ammoniaque donne du vert, puis du violet, puis du rouge, à mesure que le chlore augmente. A la quinine devraient être joints les dérivés chlorés des amides quinoniques de Laurent, ainsi que cette combinaison non azotée de Wœhler, la quinone avec l'hydroquinone, qui a pas la réputation d'être le plus beau corps de la chimie organique, etc.

Les réactions oxygénantes prolongées laissent avec plusieurs alcaloïdes, pour produit final, des résines noires.

Plusieurs des colorations que nous avons citées sont, il est vrai, passagères; d'autres n'existent que dans des véhicules qui altéreraient nos tissus; mais n'a-t-on pas rencontré exactement les mêmes phénomènes dans les apparitions de la murexyde et dans l'histoire des acides sulfindigotique et sulfopurpurique? A-t-on étudié ces réactions sous le point de vue de leur application tinctoriale? Ajoutons encore que dans ce but il serait superflu de faire usage de produits au degré de pureté où les réclame la pharmacie.

XVIII.

MÉDAILLE D'OR, *pour l'une ou l'autre des couleurs suivantes : rouge métallique ; vert métallique foncé ; violet métallique, susceptibles d'être imprimées au rouleau, avec l'albumine pour épaississant.*

Une exécution prompte, une sécurité augmentée par l'avantage de pouvoir juger des résultats durant l'impression, et une solidité suffisante rehaussée par la nature même de l'épaississant, ont donné à nos genres plastiques une étendue que les imprimeurs sur étoffes cherchent à développer chaque jour en raison de la faculté qu'ils trouvent d'y pouvoir utiliser toutes les couleurs organiques ou minérales. Cependant parmi celles-ci il manque encore trois nuances principales, et c'est en raison de cette lacune que nous faisons un appel aux fabricants de couleurs, en demandant pour les toiles peintes un rouge métallique, un violet métallique et un vert foncé.

La qualité dominante sous-entendue par *métallique* est tout d'abord la solidité à la lumière. Les autres conditions sont : l'insolubilité et l'éclat de la nuance même. Ainsi, nous ne saurions accepter, par exemple, comme rouges, des précipités qui quelquefois portent ce nom dans les verres à expérience, s'ils ne pouvaient être placés entre le vermillon et le carmin, ni former du violet ou de l'orange par leur mélange avec du bleu ou du jaune.

Pour le vert, il faut l'intensité qui manque aux composés de cuivre, d'urane de cobalt ou de chrome; intensité qui se définirait assez bien par la teinte foncée du *vert de vessie.* Nous possédons des jaunes métalliques, des bleus métalliques, mais les verts que donnent leurs mélanges perdent, dans nos con-

ditions de travail, le caractère de vivacité de leurs couleurs élémentaires.

Pour le violet, nous exigeons un ton égal au violet garance, ou à ceux que donnent nos mélanges de bleus avec roses.

Il est indispensable, pour nos impressions mécaniques, d'avoir ces couleurs dans un état de division impalpable ; les outremers du commerce peuvent servir de type à cet égard. Cette condition antagoniste de l'intensité est jusqu'à présent la cause pour laquelle le vermillon, entre autres, n'a pas pu être appliqué. D'autres fois, cette division extrême favorise une sensibilité inaperçue en masses, mais qui en petites couches montre de la fugacité sur nos étoffes ; tel est l'iodure de mercure qui en disparaît spontanément.

Signaler ces différents inconvénients, c'est attirer l'attention des fabricants de couleurs sur les produits de la plus grande stabilité et d'une intensité telle que la porphyrisation seule les descende à celle que nous réclamons. Ces conditions ne se rencontreraient-elles pas, comme déjà pour l'azur, dans les silicates, dans les flux vitreux, qui offrent des exemples de puissance colorante qui souvent ne peut être perçue autrement, et qui, telle que celle du cristal rougi par l'or, est encore sans application dans la peinture des tissus? Rappelons cependant, à l'occasion du métal que nous venons de citer, qu'en 1804 déjà, Widmer faisait à Jouy des fonds violets au protoxyde d'or, par un procédé analogue à celui du pourpre de Cassius.

IX.

MÉDAILLE D'ARGENT, *pour l'introduction dans le commerce de l'acide ferrocyanhydrique ou des ferrocyanures de calcium ou de barium.*

Pour préparer sur tissus des bleus et des verts par l'action de la chaleur sur les acides ferro ou ferricyanhydriques, le commerce ne nous livre jusqu'à présent ces acides qu'en combinaison avec la potasse. Ces sels (prussiates) ne peuvent satisfaire l'impression et la teinture que lorsque leur base en est retirée par des acides ou par des sels acides. Arrivés à une certaine intensité de nuances, à celles presque toujours demandées, ces acides ne peuvent plus être, pour l'impression, que les acides tartrique et oxalique, c'est-à-dire les acides les plus

coûteux. Tantôt leurs dépôts cristallins sont laissés dans la composition, tantôt ils en sont séparés par décantation avant l'épaississage. De toute façon ils sont perdus. Mais, séparés ou non, la formation de ces dépôts ne s'arrête pas là. Si elle a consisté d'abord en un sel prompt à se déposer et très-divisée, elle continue à la longue sous forme de cristaux de plus en plus volumineux et plus durs, qui viennent occasionner à l'impression au rouleau des brèches et de là les *traits de racles.*

A une préparation dispendieuse d'une part, à une impression dangereuse d'autre part, peut encore être ajouté un troisième inconvénient, celui de la difficulté de conservation des couleurs cyanurées concentrées. Si nous possédions l'acide ferrocyanhydrique, il pourrait etre ajouté au fur et à mesure de la demande dans un épaississant pour bleu ou pour vert, toujours prêt et stable. Si le commerce nous livrait des prussiates de baryte ou de chaux, il serait possible d'en précipiter leurs bases avec l'acide sulfurique, au lieu d'employer pour cette modique fonction l'acide tartrique. Et la proportion de ce dernier acide ne pouvant jamais être moindre en poids que celle du prussiate, il en résulte que pour utiliser ce sel, qui varie de 3 à 4 fr. le kilogramme, on lui adjoint au delà de son poids d'un acide d'un prix plus élevé que le sien. Les nouveaux composés que nous réclamons offriraient par conséquent encore, même à un prix relativement double de celui des prussiates de potasse, sécurité d'impression et facilité de préparation.

XX.

Médaille d'argent, *pour la préparation de laques de garance foncées, au fer et à l'alumine.*

Les laques de garance dont l'impression des tissus fait usage, proviennent de dissolutions aluminiques précipitées par des alcalis ou par des sels alcalins. En retirant de l'alumine à ces laques, ou en les traitant par des eaux de garance, elles peuvent devenir plus foncées, mais au détriment de leur vivacité. Ce que nous exigeons est : une laque rouge d'une part et une laque au fer d'autre part ; que ces laques, dans leur plus grand état de division, possèdent la nuance des couleurs garance avivées. Ainsi, que celle d'alumine soit égale non à un rose, mais à un rouge avivé, celle de fer égale aux violets savonnés,

et que le prix de revient n'en rende pas l'application plus coûteuse que par la voie de teinture.

XXII.

MÉDAILLE D'ARGENT, *pour le meilleur mémoire sur le cachou.*

Le cachou, qui trouve aujourd'hui un si grand emploi dans la teinture et l'impression des tissus, n'a pas encore été suffisamment étudié, et le consommateur ne saurait à l'heure qu'il est se former une théorie exacte du rôle que joue chacune des diverses substances dont il est composé. L'auteur du mémoire devra donc établir cette théorie ; faire connaître le véritable principe colorant ; indiquer son meilleur dissolvant, et la manière la plus convenable d'oxyder ou de fixer cette matière colorante, donner des moyens pratiques d'en éliminer les substances étrangères, qui ne font que ternir les nuances qu'elle fournit.

. . . .

XXIII.

MÉDAILLE D'ARGENT, *pour l'emploi en grand de l'ozone dans la fabrication des toiles peintes.*

L'ozone, agent oxydant des plus énergiques, paraît éminemment propre au blanchiment des étoffes et à l'oxydation des matières colorantes.

Mais l'impossibilé de l'obtenir en grand et d'une manière industrielle et économique, notamment en dissolution, s'est jusqu'à présent opposée à son emploi. Le prix proposé a donc pour but de provoquer des recherches sur les moyens d'arriver à une préparation remplissant les conditions voulues pour l'emploi en grand de l'ozone dans la fabrication des toiles peintes.

XXIV.

PRIX DE 5.000 FRANCS, *pour une substance qui puisse servir d'épaississant pour couleurs, apprêts et parements, et qui remplace avec une économie d'au moins 25 p. 100 toutes les substances employées jusqu'ici à ces divers usages.*

Il faudra que cette substance puisse remplacer les amidons blanc et grillé, la fécule et leur dérivés. Son prix ne devra

pas dépasser, pour le même effet utile, les trois quarts des prix moyens dans les années de récolte ordinaire, des épaississants actuellement employés.

Peut-être serait-il possible de donner à la gomme adragante, qui fixe très-bien les mordants et les matières colorantes, certaines qualités qui lui manquent, et qui en rendraient l'emploi plus général et moins cher. Dans ce cas, cette gomme serait admise au concours.

Quel que soit d'ailleurs le nouvel épaississant proposé, il devra avoir été déjà livré au commerce.

XXV.

MÉDAILLE D'ARGENT, *pour un mémoire indiquant l'action de l'ammoniaque sur les matières colorantes.*

C'est de l'action de l'ammoniaque sur les matières colorantes, ou de l'ammoniaque et de l'air sur les substances colorables, que résultent la cochenille ammoniacale et les belles couleurs d'orseille. Ces heureux résultats ne pouvant être les seuls basés sur ces procédés de développement, la Société industrielle décernera une médaille d'argent pour la préparation de toute autre couleur obtenue par ce procédé.

. . . .

XXVIII.

MÉDAILLE D'ARGENT, *pour le moyen de fixer le gris de charbon autrement et plus solidement que par l'albumine.*

En 1825, les fabricants des environs de Paris imprimèrent des gris de charbon fixés par le blanc d'œuf. La manufacture de Claye utilisa bientôt après cette couleur pour ses soubassements de meubles. En 1856, MM. Thierry-Mieg commencèrent avec le gris de charbon des effets de teintes mates; et c'est depuis le nouvel aspect qu'ils parvinrent à donner à cette couleur qu'elle devint un emploi général pour les indiennes et les tissus légers. Si nous demandons un procédé de fixation différent, c'est parce que nous en avons trouvé des spécimens dans les tissus chinois qui nous furent envoyés en 1851. Les gris unis de Chine ne sont fixés ni par l'albumine ni par des matières grasses.

XXIX.

Médaille d'argent, *pour un mémoire sur cette question : Comment les substitutions moléculaires affectent-elles les composés colorés organiques?*

Quel est, par exemple, le nombre d'équivalents d'hydrogène qui peuvent être remplacés par du chlore avant que la couleur ne soit modifiée, ou que la décoloration ne s'ensuive ? Par quel changement de coloration se manifestent les substitutions progressives ?

On demande donc l'analyse des matières colorantes à éléments substitués, le groupe carbonique étant maintenu.

XXX.

Médaille de bronze, *pour l'analyse du Lokao, ou vert de Chine.*

Après que M. D. Kœchlin eut signalé cette matière colorante, M. Plessy publia une note sur ses propriétés. Les chimistes qui se sont occupés depuis de cette matière colorante n'ont ajouté aucun fait nouveau à ceux alors indiqués. Quoique donnant à la teinture un vert lumière, les applications du vert de Chine ont été abandonnées à cause de sa fugacité et de son prix élevé. Chimiquement cependant, cette substance accuse des réactions curieuses et semble n'avoir pas d'analogue. C'est pour ajouter à son histoire scientifique que ce prix est proposé.

XXXI.

Médaille d'or, *pour l'application à la fabrication des toiles peintes de l'action de la lumière ou de l'électricité sur des matières colorantes, ou sur des matières qui se colorent sous l'action de ces agents.*

Les anciens employaient la lumière comme agent de coloration. Ils la faisaient agir sur des tissus imprégnés de sécrétions de coquillages et obtenaient ainsi des pourpres : coloration que l'alloxane ammonié donne aujourd'hui dans les mêmes circonstances.

Les teinturiers des Indes exposaient à la lumière leurs tissus

imbibés d'émulsions. De nos jours, les teinturiers en rouge ont encore recours à ce moyen combiné à la chaleur. L'action de la lumière solaire sur les dérivés des huiles est d'ailleurs telle, qu'en faisant agir isolément certains rayons du spectre sur des résines ou sur des essences oxydées ou nitrées, on détermine une variété infinie de composés colorés.

Quel est le fabricant de toiles peintes qui n'a pas déjà revêtu ses étoffes d'empreintes provenant de la décomposition de l'acide chromique, ou des chlorures d'or, de platine, d'argent ?....

Citons encore l'influence intermittente de la lumière et de l'obscurité sur nos couleurs cyanurées, ainsi que sur les dissolutions d'alloxane ammonié ; enfin l'un de ces rouges de Laurent par les thyonaphtamates.

N'avons-nous pas, d'un autre côté, à combattre l'action de la lumière contre certaines préparations, telles que celle des tissus chromatés, et reconnu que le jaune de chrome perd au soleil, comme par son contact avec d'autres oxydes, la propriété de se laisser virer à l'orange ?

Chaque jour nos usines nous rendent témoins de quelque phénomène de coloration qui, en dehors de toute explication scientifique, suffirait pour faire concevoir de la puissance de la lumière solaire une idée non moins générale que celle de l'impressionabilité des corps par la chaleur. Ne serait-il pas dès lors possible de trouver dans l'application de cet agent, ou de l'électricité, quelque procédé utile à la fabrication des toiles peintes ?

. . . .

XXXIII.

PRIX DE 17.500 FR. ET MÉDAILLE D'OR, *pour une substance pouvant remplacer, sous tous les rapports, l'albumine sèche des œufs, dans l'impression des couleurs sur les tissus, et présentant une économie de* 25 *p.* 100 *sur le prix de l'albumine.*

Les matières colorées en poudre fine ou en pâte, telles que l'outremer ou les laques, fixées au moyen de l'albumine sur les différents tissus, ont plus ou moins d'adhérence sur ces tissus, suivant le plus ou moins d'albumine sèche employée. Il faut donc que la substance devant remplacer l'albumine produise

des couleurs au moins aussi solides que le fait l'albumine dans les meilleures circonstances. Les couleurs fixées avec le nouvel épaississant devront supporter les différents passages, tels que savon, etc., et résister aussi bien au frottement que les mêmes couleurs fixées à l'albumine, sans leur donner plus de roideur.

Le prix normal de l'albumine a été pendant longtemps de 6 fr. le kilog., mais la spéculation l'a porté, dans certains moments, jusqu'à 15 fr. et plus.

Il faudrait que la substance remplaçant l'albumine fût un produit commercial et que le prix ne dépassât jamais 7 fr. le kilogramme.

L'albumine du sang, parfaitement décolorée, sera admise au concours.

XXXIV.

MÉDAILLE D'OR, *pour l'introduction de l'alizarine dans le commerce.*

La forme cristalline est toujours celle d'un composé défini, et pour la matière colorante qui fait le sujet de ce prix, on pourrait affirmer que ce serait la garantie de sa pureté et la forme sous laquelle elle se substituerait aux nombreux dérivés de la garance. Si cette matière colorante est celée dans un mélange des plus complexes, il y a des températures auxquelles elle n'y peut plus être retenue, et où seule alors elle se sépare facilement de toutes les substances qui l'accompagnent. Les vapeurs d'alizarine étant denses, devront être soustraites, à mesure de leur naissance, du foyer de chaleur par des courants d'air ou de vapeur (voir t. XV du *Bulletin de la Société industrielle*) ; le tout est d'organiser un appareil convenable. Un procédé d'extraction basé sur les propriétés de volatilité de l'alizarine et de la purpurine paraît moins coûteux que les préparations de garancines. Le jour où la garance ne se vendra qu'en cristaux, son commerce se trouvera réduit à sa plus simple expression, et sera un défi jeté à la fraude.

XXXV.

MÉDAILLE DE BRONZE, pour un travail sur cette question: *L'indigo peut-il être régénéré de ses composés sulfuriques?*

Les applications de l'indigo ne sont jusqu'à présent obtenues sur coton que par réduction et l'intermède de dissolvants alcalins. Les composés sulfuriques de l'indigo n'ont pas encore leur fixateur pour coton. La nuance plus pure de ces composés, leur grande solubilité et l'avantage de pouvoir les unir aux couleurs vapeur, donneraient de l'importance au procédé qui leur rendrait à la fois sur coton l'insolubilité et la solidité de l'indigo.

XXXVI.

MÉDAILLE D'OR, *pour la séparation du blanc d'œuf du jaune, lorsque ces deux substances se trouvent mélangées d'une manière homogène.*

Le procédé pourrait rendre pratique l'emploi des œufs de poissons et des frais.

Il suffirait de séparer la matière colorante et l'huile qui rendent l'albumine impropre comme fixateur, l'une par sa coloration, l'autre en diminuant sa solidité.

XXXVII.

MÉDAILLE D'ARGENT, pour un mémoire sur cette question: *Quels sont les degrés d'humidité et de chaleur auxquels la décomposition des mordants acétatés s'opère le plus rapidement et le plus avantageusement?*

Entre leur impression et leur teinture, les mordants sont exposés à des opérations qui consistent à enlever la partie de leur acide qui doit les convertir en sous-sels insolubles. Ces opérations consistent généralement en un séjour plus ou moins long dans une atmosphère humide; c'est à proprement parler un vaporisage lent qui s'appelle aérage. La vapeur d'eau seule est nécessaire pour enlever l'acide acétique des mordants d'alumine et de fer. Un sesquioxyde mis en contact avec de l'acide acétique est souvent long à s'y dissoudre. Cet acétate formé peut-il perdre son acide plus vite qu'il ne s'y est combiné?

Peut-il y avoir quelquefois résorption d'acide dans nos ateliers d'aérage? Dans ces milieux humides, les couleurs oxydables telles que les cachous, atteignent leur degré d'intensité d'autant plus rapidement que la température a été plus élevée; mais quelle pourra être la réaction des pertes d'acide chlorhydrique de ces couleurs sur les mordants avoisinants, et l'effet de la température sur les mordants faibles? Tout procédé ou appareil qui, dans la fabrication des toiles peintes, n'est pas fondé sur les conditions chimiques et physiques, est en dehors de la théorie et peut rendre de faux services. C'est afin de confirmer sous le point de vue théorique l'usage des nouveaux appareils d'aérage, que ce problème est posé.

XXXVIII.

MÉDAILLE D'ARGENT, *pour un mémoire sur la composition chimique des briques réfractaires généralement employées en Alsace.*

Ce mémoire devra indiquer :

1° La composition chimique d'au moins quatre espèces différentes de briques réfractaires;

2° Les meilleures proportions de silice et d'alumine, pour produire le mélange le plus réfractaire;

3° Les quantités d'oxyde de fer, de chaux, de magnésie, etc., qui peuvent se trouver dans le mélange réfractaire, sans en augmenter la fusibilité.

XXXIX.

MÉDAILLE D'ARGENT, *pour une nouvelle source d'aniline, autre que la nitrobenzine.*

La préparation de cet alcaloïde par ce nouveau procédé ne devra pas être plus coûteuse que celle au moyen de la nitrobenzine. — L'hydrate de Phényle $C^{12} H^{6} O^{2}$, qui se trouve dans les goudrons de gaz en même temps que la benzine, et qui n'a pour ainsi dire pas d'emploi, se transforme partiellement en aniline quand on le chauffe avec l'ammoniaque, dans un tube scellé.

XL.

MÉDAILLE D'ARGENT, *pour un mémoire sur l'emploi des résines dans le blanchiment des tissus de coton.*

L'auteur du travail devra indiquer l'époque à laquelle on a commencé à employer les résines dans le blanchiment des tissus de coton. Il devra examiner le mérite relatif des différentes matières employées, indiquer pour chacune d'elles les résultats qu'elles fournissent, et surtout traiter d'une manière complète le rôle que jouent ces substances dans le blanchiment.

XLI.

MÉDAILLE D'OR, *pour un nouvel emploi du jaune d'œuf.*

Depuis quelques années la consommation de l'albumine d'œuf a pris un si grand développement que la mégisserie ne peut plus absorber tous les jaunes d'œufs des fabriques d'albumine. Un nouvel emploi de cette substance en élèverait naturellement le prix et par contre-coup réduirait, sans perte pour le fabricant, celui de l'albumine.

Le concurrent devra justifier de l'emploi du jaune d'au moins 300,000 œufs et établir que cet emploi peut être fait avec avantage quand même le 100 de jaunes d'œufs serait payé 2 fr.

Depuis longtemps on a fabriqué des savons avec cette substance, l'emploi indiqué devra donc être autre.

. . . .

ARTS MÉCANIQUES.

I.

MÉDAILLE D'OR, *pour un mémoire sur la filature de coton, nos 80 à 200 métriques.*

Le choix du coton étant l'une des conditions essentielles pour obtenir un bon résultat dans la filature des numéros élevés, il faudrait dans le mémoire qu'on demande, parler des princi-

pales marques de différents cotons, de leurs qualités particulières, des moyens de les connaître, et dire jusqu'à quel numéro on peut ordinairement les filer.

On traiterait de l'épluchage, du peignage, du cardage et du laminage, des meilleurs rapports de vitesse à donner aux organes des machines de préparation, du doublage, de l'écartement aux laminoirs, du tors aux bancs-à-broches, etc.

Les soins à prendre pour éviter autant que possible l'inégalité du fil ; les principales causes qui occasionnent les vrilles, et les moyens de les éviter ; l'inclinaison à donner aux broches des métiers à filer, pour les différents numéros; la meilleure vitesse à leur imprimer; le maximum d'étirage et l'allongement de chaque renvidée; le tors nécessaire à chaque numéro, chaîne et trame, indiqué en tours de broche par centimètre, avec la force correspondante sur le dynamomètre Régnier ; des précautions à prendre pour éviter le duvet du fil ; des soins à mettre au dévidage. En résumé, toutes les manutentions qui ont rapport à la filature en fin seraient indiquées, ainsi que les meilleures dispositions à donner aux métiers.

Cette partie offre tant d'intérêt et d'utilité sous tous les rapports, qu'il serait à désirer que des personnes capables, mettant de côté tout intérêt particulier, fournissent tous les renseignements à leur portée, afin de contribuer à l'avancement de notre industrie cotonière, et d'affranchir entièrement la France du tribut qu'elle paye encore à l'étranger.

. . . .

III.

MÉDAILLE D'OR, DE 500 FRANCS, *pour le meilleur mémoire sur l'épuration des différentes espèces d'huiles, propres au graissage des machines.*

Indiquer celle qui mérite la préférence sous les rapports de l'économie, de la conservation des machines et de la légèreté de leur marche.

. . . .

V.

MÉDAILLE D'ARGENT, ***pour de nouvelles recherches théoriques et pratiques, sur le mouvement et le refroidissement de la vapeur d'eau, dans les grandes conduites.***

On est souvent dans le cas, pour utiliser la valeur perdue des machines qui fonctionnent sans condensation, de conduire cette vapeur à d'assez grandes distances, parce qu'il n'arrive pas toujours qu'on ait les moyens de l'employer dans l'établissement même, ou dans tout autre, situé à proximité. On citera comme exemple une filature ou un tissage mécanique, qui cède la vapeur perdue de son moteur à un établissement d'impression ou de blanchiment. Plusieurs applications utiles de ce genre existent dans le Haut-Rhin ; il est probable qu'elles deviendraient plus nombreuses, si, mieux fixé sur les distances qu'il est possible de faire franchir à la vapeur, pour l'employer encore avec avantage, le fabricant était retenu aujourd'hui par la crainte de faire des dépenses en pure perte.

Plusieurs savants se sont occupés de cette matière, et se sont livrés à de nombreuses expériences; mais généralement on a opéré sur des distances bien plus rapprochées que celles dans lesquelles l'industrie aurait à se renfermer, dans la plupart des cas qui comporteraient des applications du genre de celles citées. Aussi les théories établies laissent-elles à désirer sous ce dernier rapport, ou du moins ne sont-elles pas, à cet égard, appuyées sur des faits assez positifs, pour inspirer à l'industrie une confiance sufisante. Il y a donc là une lacune à remplir, et il est facile de concevoir quels avantages résulteraient pour l'industrie en général, des nouvelles recherches sur ce sujet, et de l'établissement de règles pratiques, qui seraient basées sur des expériences entreprises en grand. La Société industrielle décernera une médaille d'argent à l'auteur du mémoire qui éclairera couvenablement ces questions.

Les concurrents devront surtout s'appliquer à faire ressortir d'expériences pratiques, et à indiquer, par une formule d'une application facile, la déperdition de vitese, ainsi que le refroidissement qu'éprouve la vapeur d'eau, par son passage dans les conduites d'une longueur et d'une ouverture données. Les expériences devront avoir été faites sur des conduites de 200 mètres de longueur au moins, on devra spécifier la nature des

matériaux dont celles-ci seront formées, et indiquer les différences de résultats obtenues pour chacune d'elles.

. . . .

VI.

MÉDAILLE D'OR, *pour un mémoire complet sur les transmissions de mouvement.*

Ce mémoire devra renfermer des données exactes sur la force des arbres et des engrenages; indiquer les meilleurs ajustements, tant pour les accouplements que pour toute autre partie des transmissions; faire connaître les meilleures vitesses à donner aux arbres, et les rapports les plus convenables de ces vitesses entre elles, transmises par engrenages, ou par courroies. Les divers modes de transmission et tous les agents qui en dépendent, devront être examinés; on aura aussi à parler des supports, paliers, etc.; en un mot, traiter de tout ce qu'il peut importer de connaître en fait de transmissions de mouvement en général.

. . . .

XIII.

MÉDAILLE D'OR, *à l'établissement industriel du Haut-Rhin qui, à conditions égales, aura le plus complétement appliqué à l'ensemble de ses machines, les dispositions nécessaires pour éviter les accidents susceptibles d'être causés par celles-ci.*

Chacun déplore les funestes accidents causés souvent par les machines employées dans les établissements industriels, ou par les agents qui les mettent en mouvement. Ces accidents deviennent plus fréquents à mesure que les machines se multiplient, ou que leur marche devient plus accélérée. Ce sujet a depuis longtemps éveillé la sollicitude des constructeurs aussi bien que des chefs d'industrie; et, il faut le reconnaître, de louables efforts sont faits chaque jour par eux, pour atténuer, autant que possible, soit par des dispositions mécaniques, soit par des mesures réglementaires, les causes des dangers que nous venons de signaler. Cependant il y a beaucoup à améliorer encore sous ce rapport. Dans l'intérêt des nombreux

ouvriers employés dans nos manufactures, on ne saurait donc trop se préoccuper des moyens d'amener des nouveaux progrès dans cette voie, en même temps que de chercher à généraliser de plus en plus les applications utiles déjà réalisées, en en répandant la connaissance. La Société industrielle se propose, dans ce but, de publier toutes celles qui lui paraîtront mériter d'être signalées; mais comme il importe avant tout d'encourager, comme il vient d'être dit, l'adoption des mesures de précaution déjà connues, et de perfectionner ou d'étendre celles existantes, elle offre en même temps à titre honorifique, une médaille d'or à l'établissement qui, à conditions égales, c'est-à-dire pour un même genre d'industrie, aura le plus complétement, jusqu'à la clôture du concours de ses prix de 1861, appliqué à l'ensemble de ses machines, toutes les dispositions nécessaires pour éviter les accidents susceptibles d'être causés par elles. Il faudra, pour obtenir le prix, que ces dispositions soient en outre jugées suffisantes, et que, pour en assurer toute l'efficacité, elles soient accompagnées, en ce qui concerne la police des ateliers, des prescriptions réglementaires nécessaires. On mentionnera entre autres, à cet égard, la question du nettoyage des machines; beaucoup d'accidents provenant, ainsi que le démontre l'expérience, de ce que celui-ci se fait souvent pendant leur marche.

La Société se réserve de décerner également, s'il y a lieu, à titre d'accessit, des médailles d'argent aux établissements qui, sans remplir entièrement les conditions du programme susénoncé, auront cependant introduit chez eux des améliorations dans le sens indiqué.

. . . .

XV.

MÉDAILLE D'ARGENT, *pour un mémoire sur le chauffage à la vapeur des ateliers, et en particulier des ateliers de filature.*

L'auteur devra indiquer la disposition la plus favorable à donner aux diverses parties des appareils, le choix à faire des matériaux à employer dans la construction des tuyaux, la dimension de ceux-ci, des soupapes, robinets, etc., enfin, présenter un travail raisonné sur les règles à suivre pour arriver

aux meilleurs résultats sous le rapport du fonctionnement des appareils et de leur économie.

. . . .

XVII.

MÉDAILLE D'OR DE LA VALEUR DE 1.000 FR., *pour l'exécution d'un projet complet de retenue d'eau, au moyen de digues ou barrages, appliqué à l'un des cours d'eau du département du Haut-Rhin, et susceptible de remplir le double but de contribuer à prévenir les débordements, et de former, pour les temps de sécheresse, une réserve d'eau, dont pourraient profiter l'agriculture et l'industrie.*

Le travail demandé devra opérer une retenue d'au moins 100,000 mètres cubes. La Société industrielle exige en outre qu'il lui soit adressé un mémoire indiquant le mode de construction, les prix de revient, et les avantages qu'en retireront l'industrie et l'agriculture.

XVIII.

MÉDAILLE D'OR, *pour l'invention et l'application d'un compteur de vapeur.*

Dans les industries faisant usage de la vapeur, il serait souvent d'une grande utilité de pouvoir se rendre un compte au moins approximatif de la consommation de vapeur attribuable à chaque opération, lorsque plusieurs de celles-ci puisent simultanément à une chaudière ou à un réservoir commun. Ainsi, dans les manufactures d'indiennes, entre autres, où généralement un même générateur pourvoit à l'alimentation des cuves de teinture, de machines à sécher, à imprimer, à apprêter, etc., il serait très-important de connaître la part de vapeur réellement absorbée par chaque appareil ou catégorie d'appareils, pour en déduire la dépense incombant à chaque opération. Ce résultat pourrait sans doute être obtenu au moyen de compteurs appliqués aux embranchements distribuant la vapeur entre les divers appareils, ainsi que cela se pratique pour le gaz d'éclairage ; la question se réduirait donc à celle de trouver une disposition qui permît de mesurer la quantité de vapeur passant par un tuyau, à une pression donnée. La Société in-

dustrielle offre une médaille d'or à celui qui aura inventé, et fait fonctionner, dans les conditions ci-dessus énoncées, un semblable compteur.

XIX.

MÉDAILLE D'OR DE LA VALEUR DE 1.500 FR., *pour l'invention et l'application d'un nouvel appareil compteur à eau applicable aux générateurs à vapeur.*

L'invention d'un bon appareil de ce genre serait indubitablement la source de progrès considérables réalisés dans le but d'obtenir un meilleur rendement du combustible sous les chaudières à vapeur. Indépendamment de l'utilité d'un compteur dans le cas où il s'agit d'essais ou de recherches sur des chaudières, il y aurait pour tout industriel désireux de ménager le combustible un intérêt réel à pouvoir contrôler chaque jour son emploi, en partant de la seule base certaine pour cela. Les chauffeurs, parfois si négligents et routiniers, ne feraient-ils pas mieux leur devoir et n'arriveraient-ils pas sûrement à la connaissance des conditions nécessaires à un bon chauffage, si en réglant leur salaire suivant le rendement de combustible obtenu par eux, on pouvait, au moyen du mobile puissant de leur intérêt, les forcer à faire de leur métier une étude plus sérieuse.

Il a déjà été proposé divers systèmes d'appareils compteurs à eau; en Angleterre surtout il existe de nombreux appareils de ce genre; il ne sera pas inutile de consulter ce qui a été tenté à ce sujet (1). Aucun de ces appareils ne paraissant résoudre d'une manière satisfaisante le problème en question, on demande un compteur qui satisfasse aux conditions ci-après. Il devra être placé de préférence entre la pompe alimentaire qui refoule l'eau dans les chaudières et ces dernières, sans nécessiter l'adoption d'une seconde pompe ou d'un réservoir. Il faudra qu'il fonctionne également bien à toutes les pressions et températures usitées pour l'eau d'alimentation. Il devra, au-dessous du débit limité pour lequel il aura été établi, pouvoir enregistrer les quantités d'eau les plus variables, sans que ses

(1) Voir la revue périodique intitulée : *Practical mechanic's Journal*, vol. V, pages 78 et 178; vol. VIII, pages 199 et 268; vol. I (2e série), page 244, et vol. II (2e série, page 16.)

indications soient moins précises. Enfin, son maniement devra être sûr, facile et à l'abri des atteintes du chauffeur.

Il est exigé que ce compteur ait fonctionné dans le département du Haut-Rhin, au moins pendant six mois, d'une manière régulière et continue.

XX.

MÉDAILLE D'OR, *pour un moyen de déterminer la quantité d'eau entraînée avec la vapeur, hors des chaudières à vapeur.*

On ne possède pas de moyen facile de déterminer avec une approximation convenable la proportion d'eau vésiculaire entraînée en quantité variable avec la vapeur hors des générateurs ; on demande un moyen pratique dont l'emploi ne dépasse pas les ressources dont on peut à la rigueur disposer dans des ateliers. Un pareil procédé serait fort utile pour comparer le rendement des diverses chaudières, et étudier les conditions dans lesquelles cet entraînement d'eau toujours nuisible se produit. Un mémoire détaillé sur la question serait à envoyer avec la description de l'appareil ou du mode d'opérer proposé ; cette note devrait mentionner une série d'expériences indiquant comment l'entraînement de l'eau varie avec les diverses natures de chaudières, avec le chiffre de la consommation sur une même chaudière ; quelle influence également d'autres circonstances, telles que le niveau de l'eau, la disposition de la prise de vapeur ont sur la présence de l'eau entraînée. Etudier l'influence des divers appareils proposés jusqu'ici pour empêcher ou atténuer la production de cette circonstance défavorable à la formation économique de la vapeur (1).

. . . .

XXI.

MÉDAILLE D'ARGENT, *pour un système de pompe ou autre appareil à employer dans les ateliers de blanchiment pour faire monter dans les cuves les dissolutions d'acides employées pour le blanchiment des tissus.*

Les liquides acides, — acide sulfurique de 1 à 2° B. et chlor-

(1) Consulter le Rapport du comité de mécanique, *Bulletin de la société industrielle*, numéros de février à mai 1860. Ce Travail résume l'état actuel de cette question.

hydrique de 2 à 4° B., — employés dans les ateliers de blanchiment des tissus de coton, doivent être élevés d'une hauteur qui ne dépasse guère 5 à 6 mètres dans les cuves où l'on entasse les tissus. Le débit des pompes employées pour cette opération ne va pas au delà de 10 à 12 mètres cubes par heure.

Les métaux dont l'industrie peut jusqu'ici faire emploi ne résistent pas convenablement à l'action des acides; le cuivre laminé et le plomb ont donné les meilleurs résultats et sont le plus ordinairement employés, mais ils laissent beaucoup à désirer, n'étant pas complétement inattaquables. La difficulté d'établir convenablement les clapets et pistons est plus grande encore que celle d'obtenir des corps de pompe convenables. La porcelaine, le verre, ou mieux le cristal et la gutta-percha, pourraient donner d'excellents résultats, mais ils n'ont pas encore été employés d'une manière rationnelle. On demande un appareil élévatoire des liquides acides indiqués ci-dessus, qui soit susceptible d'élever au moins 8 mètres cubes de liquide par heure à la hauteur indiquée. Cet appareil ne devra pas être d'un prix qui dépasse trop ceux des pompes employées jusqu'ici, et ne devra pas être susceptible d'être attaqué et mis hors de service par les acides utilisés. Cette pompe devra avoir fonctionné dans le département du Haut-Rhin, au moins pendant six mois, d'une manière régulière et continue.

. . . .

XXV.

Médaille d'or, *pour l'invention et la construction d'un dynamomètre totalisateur.*

On demande un dynamomètre de rotation capable de mesurer le travail mécanique nécessaire pour mettre en mouvement les machines de filature et autres exigeant un travail moteur pouvant varier de 1/3 cheval à 6 chevaux. Cet appareil devra enregistrer le travail absorbé par une machine pendant un nombre d'heures quelconque, et cela au moyen de la simple inspection d'un compteur qui donnerait sans calculs des kilogrammètres ou des unités d'un ordre supérieur. — On entend exclure les dynamomètres totalisateurs à roulettes actuellement connus; instruments dont la pratique n'a pu encore tirer parti, sous la forme du moins sous laquelle ils ont été

présentés jusqu'ici.—L'appareil demandé devra être construit avec soin, et envoyé avant le 15 février 1861 à la Société industrielle de Mulhouse.

. . . .

XXVII.

PRIX DE 6.000 FR., *pour plans et devis des maisons à construire à Mulhouse, analogues à celles des cités ouvrières qui y ont été érigées en* 1858 *et* 1859, *et donnant un rabais de* 20 *p.* 100 *au moins sur les prix de revient de ces maisons.*

Les bases à adopter comme dimensions des maisons et nombre de chambres, seront celles qui ont été suivies pour les dernières constructions.

Les prix des matériaux divers et de la main-d'œuvre payés en 1858 et 1859 serviront de base à l'appréciation.

Ces nouvelles constructions devront remplir les mêmes conditions générales que celles exécutées jusqu'ici, soit même solidité et durée, mêmes conditions hygiéniques. Il faut que l'entretien n'en soit pas plus dispendieux. — Ces maisons étant contiguës, la sonorité, ni les chances de combustibilité, ne devront pas être augmentées. Il est à désirer que l'intérieur puisse être blanchi à la chaux; chaque maison devra avoir ses privés inodores, comme les maisons actuelles.

La Société des cités ouvrières a construit des maisons par groupes de quatre et par groupes plus considérables : ceux par quatre sont indiqués comme préférables, sans cependant être prescrits pour le concours.

Copies des plans et des marchés actuels seront remises aux personnes qui les demanderont, avec tous les renseignements qu'elles pourront désirer.

Pour tous les détails techniques, s'adresser à M. Müller, architecte de la Société des cités ouvrières et membre de la Société industrielle, 33, rue de Chabrol, à Paris.

Ce prix pourra n'être délivré que lorsqu'une maison conforme aux plans et devis, et réalisant le rabais demandé aura été construite, et, dans ce cas, il serait pris des mesures pour que cette construction soit achevée avant la fin de 1861.

XXVIII.

MÉDAILLE D'OR, *pour une amélioration nouvelle dans la construction des chaudières à vapeur du type à bouilleurs, employé en Alsace.*

D'après les expériences récentes, faites par le comité de mécanique de la Société industrielle, il est probable que les chaudières à bouilleurs nouvellement modifiés, seront au moins pendant un certain temps encore, conservées en Alsace, parce que leur usage est éminemment pratique, et que leur rendement n'est point inférieur à celui des autres systèmes connus aujourd'hui. Cependant d'après les chiffres même les plus favorables, constatés par le comité, il doit être possible d'améliorer encore ces appareils, puisque le *maximum* accusé par ces essais est encore inférieur d'environ 30 p. 100 au rendement théorique, et que, tout en tenant compte des causes de perte, qu'il est impossible d'annuler, il reste encore une différence qu'on peut espérer voir disparaître un jour.

On exige que la disposition présentée ait été appliquée durant au moins six mois à une chaudière à vapeur fonctionnant dans le département du Haut-Rhin.

XXIX.

MÉDAILLE D'OR, *pour les analyses de gaz sortant des cheminées de chaudières à vapeur.*

Les faits rapportés par le comité de mécanique de la Société industrielle, à l'occasion du concours des chaudières, montrent quelle serait l'utilité de recherches de cette nature. Des analyses bien exactes de gaz pris à l'issue des cheminées, donneraient seules la mesure de la perte due à une combustion incomplète.

Il faudrait déterminer la composition des produits gazeux pour différentes alimentations d'air, données en mètres cubes pour chaque kilogramme de houille brûlée, et pour des combustions lentes et vives.

Indépendamment du rapport du comité de mécanique, susindiqué, on pourra consulter la troisième édition du *Traité de la chaleur*, par Péclet, où on trouvera un résumé des travaux les plus récents sur cette matière.

. . . .

XXXI.

UNE MÉDAILLE D'OR, A LAQUELLE SERA JOINTE UNE SOMME DE 1.000 FR., *pour la découverte et l'application d'un procédé de séparation, dans les réservoirs hors de la chaudière, des sels calcaires et autres contenus dans les eaux de puits de Mulhouse.*

La Société industrielle ne demande pas un moyen de préserver les chaudières à vapeur des incrustations par l'introduction dans la chaudière même d'un corps agissant sur les sels calcaires et autres, et les empêchant d'adhérer fortement au métal; tous ces procédés présentent des inconvénients plus ou moins graves et la Société refuse formellement de les admettre au concours.

Pour remporter le prix, il faudra précipiter les sels calcaires et autres avant d'employer l'eau dans la chaudière, de façon à l'alimenter avec de l'eau complétement débarrassée de ces sels.

Le procédé proposé ne devra pas remplacer les sels nuisibles par une autre substance qui puisse occasionner des vidanges fréquentes et donner, par suite, lieu à des pertes de calorique.

Le procédé en question devra être d'une application facile, ne pas exiger des appareils compliqués et coûteux, et en même temps être très-rapide, afin que l'eau de condensation que l'on soumettrait à la précipitation conserve la plus grande partie de sa chaleur. En aucun cas l'emploi du procédé proposé ne devra entraîner, en y comprenant l'intérêt et l'amortissement des appareils, à une dépense de plus de 10 centimes par mètre cube d'eau purifiée.

La Société pourra, le cas échéant, donner des médailles d'encouragement pour des procédés qui ne réuniraient pas toutes les conditions, mais qui pourraient cependant dans certains cas être employés avec avantage.

. . . .

INDUSTRIE DU PAPIER.

. . . .

I.

MÉDAILLE D'OR, DE 500 FR., *pour le meilleur mémoire traitant de la décoloration du chiffon et de son blanchiment.*

Le concurrent devra s'appliquer, en indiquant les différents procédés employés, à faire ressortir le danger de détérioration des fibres du chiffon, et analyser les éléments du prix de revient du blanchiment des chiffons servant à produire 100 kil. de papier.

Examiner l'influence produite par le nouvel impôt du sel employé dans les manufactures. Indiquer le déchet ou la perte des chiffons, c'est-à-dire de combien, pour les différents procédés, il faut de kilogrammes de chiffons pour produire 100 kilog. de papier. Étudier surtout les causes qui influent d'une manière nuisible sur le blanchiment du chiffon; enfin, traiter cette matière d'une manière complète au point de vue de la science et de la pratique.

III.

MÉDAILLE D'ARGENT, *pour le fabricant qui aura livré à la consommation 500 kilogr. de papier ayant toutes les qualités requises pour la photographie.*

On n'a pas, jusqu'à ce jour, confectionné en France un papier irréprochable, spécialement destiné à faire des épreuves photographiques négatives. Les défauts des papiers qui se trouvent dans le commerce sont : 1° l'inégalité de la pâte et de l'épaisseur de la feuille; 2° l'empreinte produite par la toile métallique. Ces deux défauts sont masqués en partie par le satinage, mais reparaissent après un premier passage dans un liquide. Les papiers ne sont jamais complétement exempts de taches produites par des parcelles métalliques.

Il résulte de cette fabrication défectueuse que les plus habiles photographes français, aujourd'hui, sont ceux qui sont parvenus à corriger partiellement les défauts du papier, en le traitant

d'abord par des bains acides pour enlever les taches métalliques, et en corrigeant ensuite l'inégalité et les défectuosités du tissu par des enduits tels que l'amidon soluble, l'albumine, le sérum, la gélatine, la cire, etc.

Nous demandons un papier fait de matière homogène, parfaitement pur, qui ait été préparé de manière que la pâte soit entièrement exempte de traces métalliques, qui ne marque pas un envers, qui soit partout de même épaisseur, sans traces et sans *à-jour*, qui s'imbibe parfaitement en le couchant sur un liquide, sans qu'il y ait besoin de le tiédir, ou de l'y laisser plus de dix à quinze minutes; qui puisse supporter un bain d'eau pure de quelques heures, après lequel il pourra être manié en grandes feuilles sans se déchirer.

Les papiers anglais de Turner sont ceux qui se rapprochent le plus de ces conditions.

PROCÉDÉ KIND [1]

TRAVAUX EXÉCUTÉS EN BELGIQUE.

Par M. J. CHAUDRON, ingénieur au corps des mines de Belgique.

(Extrait des *Annales des travaux publics* de Belgique.)

Note préliminaire.

Nous avons publié, sous la date du 14 novembre 1853 (2), un rapport succinct sur le procédé inventé par M. Kind, pour le percement des puits des mines dans les terrains aquifères.

Ce rapport provisoire ne renfermait que quelques renseignements généraux recueillis dans nos visites à Stiring-lez-Forbach (France), où l'on essayait alors ce nouveau mode de travail; il attira cependant l'attention des hommes compétents sur l'importance du procédé King et sur les services immenses qu'il pourrait être appelé à rendre à notre pays.

Des circonstances malheureuses, survenues depuis cette époque, firent abandonner les premiers travaux de l'inventeur.

Une compagnie dite des sondages, composée de

(1) C'est M. Ponson, auteur du *Traité d'exploitation de la houille*, qui le premier, en 1850, nous fit connaître les tentatives de M. Kind. — Plus tard, M. l'ingénieur Berchem, par une note publiée dans le *Bulletin du musée de l'Industrie*, t. XX, année 1851, a signalé le résultat des forages à grande section exécutés à Stiring.

(2) *Annales des travaux publics*, t. XII, p. 327.

MM. Hainguerlot, de Wendel, etc., s'était constituée à Paris, pour l'exploitation du brevet de M. Kind ; cette compagnie avait entrepris successivement l'établissement de deux puits *en niveau*, sur une concession charbonnière qu'elle possédait dans le département de la Moselle (à Stiring); ces travaux n'avaient pas réussi. Une troisième tentative avait été faite sur la concession Belge-Rhénane, dans le bassin de la Ruhr (Westphalie), et, bien qu'elle eût donné des résultats plus satisfaisants que les deux autres, elle fut considérée comme n'ayant point atteint son but. Le nouveau procédé fut dès lors condamné par la plupart des ingénieurs. La compagnie des sondages elle-même renonça à ses expériences, et, confiant à un autre que M. Kind la direction de ses travaux de Stiring, elle se décida à reprendre ses avaleresses par les moyens ordinaires; elle fut dissoute quelque temps après.

Néanmoins, encouragé par la confiance que quelques capitalistes voulurent bien nous accorder, et par le patronage de l'administration générale des ponts et chaussées et des mines, qui nous donna toute facilité pour nous permettre de nous consacrer entièrement aux travaux, nous avons poursuivi, depuis 1854, l'application du procédé Kind en Belgique, et, nous sommes heureux de le dire, nos derniers efforts ont été couronnés d'un plein succès.

Nous devons adresser des remercîments à M. De Vaux, inspecteur général des mines, pour le concours qu'il nous a prêté en toute occasion ; il nous a souvent aidé de ses conseils, notamment dans la confection d'un des nouveaux appareils que nous avons employés (la boîte à mousse).

Le premier puits exécuté à Stiring par M. Kind avait 100 mètres de profondeur et $4^m,25$ de diamètre; le

forage de ce puits avait bien réussi. Il fut garni d'un cuvelage en bois de bout de 3^{m},50 de diamètre intérieur; les pièces de ce cuvelage avaient 0^{m},25 d'épaisseur à la base et 0^{m},15 dans la partie supérieure du revêtement; elles étaient réunies entre elles comme les douves d'un tonneau et maintenues ensemble, pour la mise en place, par des cercles extérieurs en fer. Un bétonnage de 0^{m},125 d'épaisseur avait été fait entre le terrain et le cuvelage, sur toute la hauteur de ce dernier. Lorsqu'on fit l'épuisement de l'eau, après le travail achevé, on dut constater que le puits n'était pas étanche, et, malgré l'établissement d'une forte machine d'épuisement, on ne parvint pas à mettre les eaux à plat. On supposa dès lors que le bétonnage n'avait pas été bien fait. Nous verrons aussi, par la suite, que l'épaisseur des douves était insuffisante.

Le second puits, de 1^{m},65 de diamètre, avait été creusé de la même manière que le premier, et garni d'un cuvelage en bois jusqu'à 200 mètres de profondeur. On parvint dans ce second travail à enlever l'eau du puits jusqu'à la profondeur de 120 mètres; mais un accident, la rupture d'une pièce de cuvelage à ce que l'on suppose, fit remonter subitement les eaux jusqu'à la surface, et il devint alors impossible de les épuiser de nouveau.

Des discussions eurent lieu à l'occasion du résultat de ces deux entreprises, alors surtout qu'il s'agissait de continuer le travail en cours d'exécution en Westphalie. Plusieurs ingénieurs furent consultés par M. Kind et par la société Belge-Rhénane, et ils émirent des avis très-opposés sur la marche à suivre pour vaincre les difficultés en présence desquelles on se trouvait.

Quoi qu'il en soit, les expériences de Stiring permettent, selon nous, de constater : 1° que l'on ne peut

pas compter sur un simple bétonnage derrière le cuvelage pour rendre ce dernier complétement étanche; 2° que les cuvelages en bois sont tout à fait impropres pour l'application du procédé Kind, car le premier effet de la pression des niveaux, dès qu'on retire l'eau du puits, est de resserrer les douves en bois, de briser la croûte de béton qui se trouve derrière, et de rendre le bétonnage inutile sur toute la hauteur du revêtement. Ce qui le prouve, c'est qu'on a remarqué, lors de l'épuisement de l'eau du second puits dont nous avons parlé ci-dessus, que le cuvelage, qui présentait 1 mètre de diamètre intérieur, s'était resserré de 6 centimètres, c'est-à-dire qu'il n'avait plus que $0^m,98$ quand il fut chargé.

Ajoutons à ces imperfections des cuvelages en bois, la difficulté d'assembler les douves de chaque tronçon d'une manière convenable, et dès lors la possibilité de les voir céder à la poussée sur un point de la voûte, eu égard au peu de différence que présente leur largeur à l'intrados et à l'extrados. C'est là la cause, sans doute, qui a occasionné l'accident du second puits; l'une des douves aura été en quelque sorte laminée et repoussée vers l'intérieur, ce qui a suffi pour compromettre complétement le travail.

A la troisième entreprise faite par le procédé Kind, en Westphalie, on a paré en partie aux défauts signalés ci-dessus, en garnissant l'intérieur du cuvelage d'un grand nombre de cercles en fer solidement serrés contre les douves; cette modification ne rend pas le travail parfait; c'est nous qui l'avons conseillée, mais uniquement comme moyen de consolider un cuvelage déjà établi.

Les inconvénients du nouveau procédé, employé dans les conditions que nous venons de faire connaître,

nous ont conduit à étudier avec soin la question de l'application des cuvelages en fonte, indiquée déjà par M. Kind lui-même, mais que l'on n'avait pas abordée par suite de quelques difficultés pratiques que cela devait présenter.

Nous avons réussi à mettre en œuvre le cuvelage en fonte; de plus, nous avons adapté à la partie inférieure du revêtement, une *boîte à mousse* qui permet de faire le bétonnage plus compacte, et d'arriver à rendre le cuvelage étanche (1).

Dans ces nouvelles conditions, le procédé Kind peut être appliqué, croyons-nous, avec presque certitude de succès.

Ainsi qu'on pourra en juger par les détails de ce rapport, il présente une simplicité et une rapidité d'exécution qui, outre la grande économie qu'il réalise sur les moyens ordinaires, le feront adopter, sans doute, dans presque tous les cas où il s'agit de traverser des terrains renfermant des *niveaux*.

Une très-grande étendue des terrains compris dans le périmètre de nos bassins houillers, se trouve inexplorée à cause des difficultés qu'y présente l'établissement des puits, et c'est précisément dans les conditions où sont placées ces richesses encore intactes que le procédé Kind est appelé à fonctionner.

Les parties méridionales des concessions charbonnières dites du *Centre* sont dans ce cas : des niveaux d'eau puissants, des terrains difficiles à traverser, les

(1) Voir la spécification du brevet d'invention de vingt années qui m'a été accordé en Belgique, le 25 juin 1855, pour l'application des cuvelages en fonte dans le percement des puits à niveau plein : composition des cuvelages; boîte à mousse; essai des pièces; moyen de descendre en place les revêtements métalliques d'un poids considérable.

uns, tels que les *rabots*, présentant une grande résistance à l'attaque des outils ordinaires ; les autres, tels que les sables boulants, ne pouvant être traversés qu'à *niveau plein*, tels sont les éléments contre lesquels il faut combattre pour y atteindre le terrain houiller.

La Société charbonnière de Péronnes, qui s'est décidée la première à entreprendre, en Belgique, l'essai du procédé Kind, possède une concession de mille hectares, qui est recouverte sur toute son étendue de terrains aquifères.

Déjà en 1828, cette société avait tenté d'établir, à grands frais, un siége d'exploitation (puits n° 1, dit Richebé), à peu de distance de la chaussée de Bray à Nivelles; mais après plusieurs tentatives infructueuses, elle dut abandonner ses travaux, par suite de la rencontre de sables boulants qu'il ne fut pas possible de traverser.

En 1855, les propriétaires de Péronnes, sur l'exposé que nous leur fîmes du procédé Kind, n'hésitèrent pas à faire une nouvelle entreprise pour explorer le nord de leur concession.

A l'endroit où fut creusé le nouveau puits dit n° 3, sur la commune de Saint-Vaast, l'épaisseur des morts terrains est de 195 mètres, et ils renferment des niveaux d'eau considérables, si l'on en juge par ce qui s'est passé au puits de Falnuée, établi dans le voisinage.

Le puits n° 3 a été creusé au diamètre de $4^m,25$, jusqu'à la profondeur de 98 mètres, et garni d'un cuvelage en fonte de $3^m,65$ de diamètre intérieur.

Il n'est pas douteux pour nous que ce travail, qui était terminé dès le mois d'août 1856, ait complétement réussi à tenir l'eau des niveaux supérieurs. Il reste à percer 97 mètres pour atteindre le terrain

houiller; c'est une opération que des motifs financiers ont fait différer jusqu'à ce jour; mais on ne tardera pas, sans doute, à reprendre le travail.

Un second puits a été exécuté suivant le procédé Kind et toujours par la Société de Péronnes, près d'un siége d'exploitation ancien dit Sainte-Marie n° 2. Il s'agissait là d'établir un puits d'aérage à travers la couche de marnes aquifères, qui recouvre le terrain houiller sur une épaisseur de 107 mètres.

Ce dernier travail a bien réussi : le cuvelage en fonte dont on a garni les parois du puits est parfaitement étanche, à tous ses joints de même qu'à sa base, et il ne peut plus rester aucun doute maintenant sur la possibilité de passer les niveaux par le procédé Kind.

Description du procédé suivi pour l'exécution des puits de Saint-Vaast et de Péronnes (1).

La construction des puits dans les terrains aquifères, comprend deux séries d'opérations bien distinctes : d'abord le percement du puits; ensuite l'établissement du revêtement imperméable, c'est-à-dire du cuvelage.

Le fonçage des puits, par le procédé Kind, se fait d'une manière analogue à celle qu'on emploie pour faire les petits sondages de recherches ou les puits artésiens : c'est tout simplement l'exécution d'un sondage de grand diamètre, fait avec des machines puissantes et des outils de dimensions extraordinaires.

La belle invention de M. Kind consiste dans la composition et dans la forme de ses outils, et c'est par la grande habileté déployée dans ses premiers travaux qu'il a su inculquer à ses ouvriers sondeurs la har-

(1) Bien que les procédés suivis à Saint-Vaast et à Péronnes soient les mêmes, la description donnée dans les trois premiers chapitres de ce mémoire s'applique plus spécialement aux travaux du puits n° 3 (Saint-Vaast). Nous avons reporté dans le chapitre IV les particularités relatives aux travaux du puits d'aérage dit de Sainte-Marie (Péronnes).

diesse et le sang-froid par lesquels chacun d'eux se distingue.

Le forage des puits se fait à l'aide d'un instrument appelé *trépan*, que l'on fait agir par percussion, au moyen d'une machine à vapeur; les roches à traverser sont broyées et réduites en une bouillie épaisse, dont l'extraction se fait au moyen d'une *cuiller* ou cylindre à soupape, que l'on plonge au fond de l'excavation, et que l'on en retire plus ou moins remplie de débris de roches.

Cette opération du fonçage des puits par forage est des plus élémentaires; mais elle exige cependant une longue pratique dans le maniement des outils, et une grande perfection dans les ajustements de ces derniers; car on est exposé à des accidents de tous les instants, qui peuvent résulter, soit de fausses manœuvres, soit des chocs violents et des résistances nuisibles et incalculables qui sont inhérentes au jeu des appareils.

Nous allons décrire, dans un premier chapitre, les outils de forage (*trépans*), les cuillers à draguer, les tiges d'assemblage, la glissière d'échappement qui s'adapte entre ces tiges et l'outil, et enfin les moteurs qui servent à les mettre en mouvement; nous ferons ensuite connaître les instruments de sauvetage et les particularités relatives à la tour et aux bâtiments de sondage.

Nous exposerons, dans le second chapitre, quelques considérations sur la marche des appareils de sondage, et nous signalerons alors le résultat des travaux du puits de Saint-Vaast.

CHAPITRE Ier.

APPAREILS ET BATIMENTS DE SONDAGE.

Le trépan, qui est destiné, comme nous l'avons dit, à agir par son poids sur la roche à percer, doit être, on le conçoit, d'une grande solidité. *Trépans.*

Le puits de Saint-Vaast, exécuté au diamètre de 4m,25, a été foré en deux fois, c'est-à-dire que l'on a d'abord fait un trou de sonde de 1m,37 de diamètre, au centre du puits qu'il s'agissait d'établir, et que l'on a ensuite élargi ce trou de sonde de manière à lui donner les dimensions indiquées ci-dessus.

Les *fig.* 11, 12, 13, 14 et 15, Pl. II, donnent les projections verticales et horizontales du petit trépan employé au percement du puits préparatoire.

Les *fig.* 6, 7, 8, 9, 10, Pl. I, font voir les dimensions et la composition du grand trépan, qui a servi à la seconde opération, c'est-à-dire à l'élargissement du premier forage.

Le petit trépan employé à Saint-Vaast est en fer battu; il a été fabriqué dans les usines de MM. Derosne et Cail, à Bruxelles. Cet outil est formé de deux pièces principales : la lame et les bras. La lame porte à sa surface inférieure des trous légèrement coniques, dans lesquels s'ajustent des dents en acier ou en fer aciéré. Ces dents sont serrées contre la lame, par des clavettes entrant à la force; elles sont placées de manière à présenter leur taillant dans le sens de la longueur de la lame. Aux extrémités de cette dernière se trouvent deux têtes, forgées d'une seule pièce avec le corps, et qui portent également des dents placées dans le *Petit trépan.*

même sens que les autres; mais elles sont doubles, afin de rendre plus forte à l'attaque cette partie de l'outil.

C'est par l'élargissement plus ou moins grand de ces dents de tête que l'on peut, en conservant la même lame du trépan, faire varier le diamètre du puits, en plus ou en moins, de $0^m,12$ à $0^m,15$, ce qui pourrait devenir nécessaire dans le cas où il faudrait tuber l'excavation; c'est ce qui arriverait, par exemple, si les terrains à traverser étaient d'une nature ébouleuse.

La disposition des dents par rapport au milieu de la longueur de la lame, est digne de remarque : elles sont placées de telle façon que, pour chaque révolution du trépan autour de l'axe imaginaire que l'on peut faire passer par le point milieu de la lame, chaque dent parcourt un espace annulaire différent pour chacune d'elles, en sorte que l'ensemble de ces espaces annulaires forme la surface totale du puits foré.

Il suffira de jeter un coup d'œil sur les dessins de l'outil, pour comprendre cette disposition, qui a pour but de faire porter en plein chaque partie du taillant, et d'éviter autant que possible les chocs obliques.

Au-dessus de la lame principale du trépan se trouve une seconde lame, formée de deux pièces boulonnées sur l'arbre de l'outil, et portant deux dents équarrisseuses, qui servent de guide et qui agissent en même temps sur les parois de la roche, comme ciseaux dégrossisseurs, pour rendre les parois plus unies, en enlevant les parties saillantes qui pourraient encore rester après le passage de la lame inférieure.

Enfin au-dessus de cette lame supplémentaire se

trouvent deux guides en croix, destinées à maintenir l'outil bien vertical. Ces guides, faites en fer, sont recourbées à leurs extrémités, de manière à former des parties d'arc de cercle rasant les parois du trou de sonde. Ces dernières pièces peuvent glisser au besoin le long de l'arbre tourné qui surmonte les bras du trépan, et s'éloigner ainsi des deux lames.

L'arbre et les bras composant la dernière partie de l'outil sont formés d'une seule pièce, qui s'assemble par enfourchement sur la lame principale, contre laquelle elle est serrée au moyen de clavettes.

Le grand trépan ne présente guère de différence avec l'outil que nous venons de décrire, que par ses dimensions et son poids considérables. Grand trépan.

Eu égard à la difficulté de construction, on a dû le former d'un plus grand nombre de pièces; il se compose de cinq parties principales : la lame, les trois bras et l'arbre d'assemblage.

La lame est en acier fondu; elle a $4^m,08$ de longueur, $0^m,25$ de hauteur et $0^m,13$ d'épaisseur; elle porte à ses extrémités deux têtes qui font corps avec elle, de même que dans le petit trépan. Cette pièce pèse 1,071 kil.; elle a été fabriquée dans les usines de M. Krupp à Essen.

La lame dont il s'agit, à part ses dimensions, porte des dents disposées d'une manière analogue à celles du petit trépan; seulement les dents du milieu sont supprimées, puisque le petit puits central percé préalablement les rend inutiles; il y a quatre dents de tête à chacune des extrémités et cinq dents de chaque côté sur la longueur de la lame, soit en tout dix-huit dents; chacune d'elles pèse en moyenne 15 kil.

Les trois bras s'assemblent avec la lame, par enfour-

chement, au moyen de clavettes, de même que l'arbre s'assemble avec les bras. Ces quatre pièces sont en fer forgé et ont été fabriquées dans les ateliers de M. Dorzée à Boussu; elles pèsent ensemble 4.089 kil.

Deux fortes pièces en chêne (*fig.* 8) traversent les trois bras au milieu de leur hauteur, et les serrent solidement au moyen de boulons; c'est ce qui remplace ici la lame équarrisseuse du petit trépan.

Pour maintenir le grand trépan dans une position verticale, pendant le travail de sondage, il n'est guère possible d'employer des guides fixes placées en croix comme celles employées pour le petit trépan; en effet, une ouverture de $4^{m},25$ de diamètre serait alors nécessaire, sur tout le pourtour du puits, pour laisser passer ce grand outil, et c'est ce qui rendrait dangereuses les manœuvres que nécessitent l'entrée et la sortie des appareils de sondage.

Pour parer à cet inconvénient, on a employé des guides mobiles sur l'arbre du trépan et suspendues sur deux cordes partant du plancher de travail, à la surface. Les guides mobiles (*fig.* 9) consistent en deux fortes pièces de bois, du diamètre du puits ($4^{m},25$) et placées en croix l'une sur l'autre; l'un de ces guides est rigide sur toute sa longueur, l'autre se divise en trois parties, réunies par des charnières, et peut passer, quand les deux bras ou parties mobiles sont dans une position verticale, dans une ouverture de $1^{m},50$ de largeur.

Les deux bras sont relevés au moyen de cordes, dès que le trépan est introduit dans le puits. Deux petits treuils, placés sur le plancher de manœuvre, permettent de laisser descendre ces guides mobiles en même temps que le trépan; ils restent fixes pendant le travail du sondage, et c'est l'arbre du trépan qui

joue dans l'anneau central laissé au milieu des pièces de bois; mais afin que l'arbre ne s'use pas par ce jeu continuel, on l'entoure sur toute la hauteur de la partie qui doit frotter, de petites bagues en fer que l'on peut renouveler quand il y a lieu.

Le poids total du grand trépan, avec ses accessoires, est d'environ 7.000 kil.

L'arbre du trépan est fileté à sa partie supérieure et s'adapte dans une douille en fer forgé, taraudé d'un côté pour recevoir cet arbre, et l'autre côté, pour se réunir à la glissière, pièce intermédiaire entre le trépan et les tiges de sondage. Douille d'assemblage.

Les *fig.* 28 et 30, Pl. II, représentent cette pièce, qui est assez difficile à fabriquer.

L'un de nos chefs sondeurs nous a proposé de remplacer cette grosse douille par un assemblage à clavettes représenté *fig.* 41 et 42. Nous sommes d'avis que cela serait préférable; car la vis se rouillant à la longue, finit par ne plus jouer, et dès lors elle ne répond plus à son but, c'est-à-dire que le trépan et la pièce suivante se calent l'une sur l'autre, et ne peuvent plus se séparer, ce qui est très-gênant pour les réparations à y faire.

La glissière (*fig.* 27 à 30) forme l'une des parties essentielles de l'appareil de sondage; c'est en effet le jeu de cette pièce qui permet de soulever le trépan, par l'effort de traction que l'on exerce sur les tiges de suspension, et de le laisser ensuite retomber, sans que ces tiges reçoivent le contre-coup de l'énorme choc produit par la chute de l'outil. Sans la glissière, il serait pour ainsi dire impossible de donner le moindre coup de trépan sur un terrain dur, sans briser les tiges de sondages; car celles-ci auraient à supporter Glissière.

des vibrations auxquelles elles ne pourraient évidemment résister, ce dont on se convaincra facilement lorsque nous aurons fait connaître la légèreté et le mode d'assemblage des tiges.

M. Kind a employé avec avantage, pour remplacer la glissière, dans les petits sondages, l'instrument dit à *chute libre;* l'outil est alors indépendant de la tige; il est soulevé par cette dernière à la hauteur voulue, puis, par un mouvement de déclic, il s'échappe et retombe seul au fond du trou de sonde.

Le trépan à chute libre a été essayé pour les sondages à grand diamètre, c'est-à-dire les puits; mais il n'a pas eu grand succès, et nous doutons beaucoup, quant à nous, qu'il puisse avoir ici des avantages sur le trépan à glissière; il présenterait certainement des inconvénients sérieux dans les cas d'accidents, tels que ceux que nous aurons à signaler par la suite.

La glissière est formée de deux parties qui jouent l'une contre l'autre; la première s'adapte au trépan : c'est une masse de fer rectangulaire, terminée inférieurement par une queue filetée qui lui permet de se visser sur la douille d'assemblage, vissée elle-même sur le trépan. Elle porte au milieu une rainure d'environ $0^m,50$ de hauteur, dans laquelle doit se mouvoir le tenon de l'autre partie de la glissière, qui se nomme le mâle. Ce dernier se compose de deux joues plates, réunies à la partie inférieure par le tenon dont il s'agit, et se terminant, en haut, par un bout de tige en fer qui vient se raccorder aux autres tiges de suspension.

Le tenon de la partie mâle de la glissière porte tout le poids du trépan, dans les mouvements ascensionnels, et l'on doit le renouveler lorsqu'il commence à s'amoindrir La rainure finit aussi par s'user, c'est-à-dire s'allonger, et il faut alors repasser la pièce à la forge pour

la recharger de nouveau fer; c'est pour cela qu'il est nécessaire de pouvoir détacher facilement la glissière du trépan.

Les tiges de sondage sont des pièces de bois de sapin de $0^m,15$ à $0^m,16$ d'équarrissage et de 15 mètres de longueur, portant à leurs extrémités des ferraillements avec vis, à l'un des côtés, et avec douille, à l'autre, ce qui leur permet de s'ajuster bout à bout. Les tiges en bois présentent beaucoup d'avantage sur les tiges en fer : elles offrent une grande rigidité et elles perdent leur poids dans l'eau, de sorte que la force du moteur est presque entièrement utilisée à soulever le *trépan;* l'élasticité de ces pièces de bois est également une qualité précieuse qui leur permet de céder momentanément à l'action d'une résistance fortuite, et de reprendre ensuite leur forme primitive. Le fer pourrait se tordre ou se plier, en pareille circonstance, et occasionner bien des embarras. **Tiges de sondage (*fig.* 19, 20).**

Lorsqu'on achète les bois destinés aux tiges de sondage, il faut avoir soin de prendre des arbres entiers de l'épaisseur voulue, et non pas des pièces sciées sur quartier; c'est le seul moyen d'avoir toujours des tiges bien droites et qui ne se gauchissent pas par l'usage.

Il est assez difficile de se procurer des pièces de toute longueur, et leur transport n'est pas commode. On peut au besoin et sans grand inconvénient, composer chaque tige de deux longueurs de $7^m,50$ chacune, assemblées par quatre petites clames. C'est ce que l'on fait aussi pour utiliser les tiges cassées.

Le ferrement de chaque tige porte au-dessous de la vis d'assemblage, un épaulement qui permet de les recevoir, au plancher de manœuvre, au moyen des fourches, *fig.* 33 et 34, et de les suspendre sur des cro-

chets, fig. 35, qui sont attachés sur un arbre horizontal en fer, placé au sommet de la tour de sondage.

Tourne-sonde (fig. 21 et 22).

Au-dessus des tiges de sondage vient un étrier en fer qui les réunit à la vis d'allongement; celle-ci est assemblée à la chaîne de suspension attachée sur le balancier de battage.

Cet étrier, que nous appelons *tourne-sonde*, peut paraître au premier abord d'une importance secondaire; il exige cependant une grande solidité et une construction soignée; car c'est lui qui supporte tout le poids de l'appareil de sondage, et qui reçoit le choc le plus violent, lorsque tout cet appareil descend, après chaque pulsation de la machine motrice. Cette pièce a cassé souvent au commencement de nos opérations; nous avons fini par lui donner des dimensions beaucoup trop fortes en apparence, et c'est alors seulement que nous sommes parvenu à éviter les accidents, ou plutôt les retards provenant de sa rupture.

Il faut aussi veiller tout particulièrement à ce que le tenon d'assemblage qui réunit le tourne-sonde à la vis d'allongement, puisse tourner facilement dans sa mortaise, afin de permettre à l'appareil de sondage de subir facilement les mouvements de rotation.

Vis d'allongement (fig. 23 et 24).

La vis d'allongement sert, comme son nom l'indique, à allonger les tiges de suspension du trépan, au fur et à mesure que le forage s'approfondit. Dès que toute la longueur de cette vis a été parcourue, on ajoute à la tige de sondage un bout de rallonge en fer, et l'on remonte la vis; cette opération se répète un certain nombre de fois, puis on remplace les petites allonges par de plus longues, et enfin, lorsqu'on a descendu de 15 mètres, on remplace toutes ces allonges par une nouvelle tige de sondage en bois.

La chaîne de suspension, qui est l'intermédiaire entre

l'appareil de sondage et le moteur, doit aussi être faite très-solidement ; car elle reçoit des secousses violentes et se casse souvent, malgré tout le soin que l'on peut apporter à sa construction.

Appareil moteur du sondage. Cylindre batteur.

Tout l'appareil de sondage, tel que nous venons de le décrire, est suspendu sur un balancier en bois, qui est mis en mouvement par une machine à vapeur (*m*, fig. 1, pl. I.)

Cette machine, que nous désignons sous le nom de *batteur*, est tout simplement un cylindre à vapeur ouvert par le dessous, et fermé par un couvercle à la partie supérieure ; le piston est attelé directement au balancier et agit à simple effet ; la vapeur arrive sur le piston par le dessus du cylindre, et produit son action en descendant, pour soulever l'appareil du sondage.

Une grande simplicité est requise dans les organes de cette machine, afin que les réparations en soient promptes et faciles.

On la met en mouvement à la main, afin de pouvoir accélérer ou retarder les coups de piston, et d'augmenter ou de diminuer la hauteur d'ascension de l'outil de forage, selon la dureté ou l'homogénéité de la roche, ou d'après toute autre circonstance qui exige des changements dans la manœuvre.

Pour rendre facile la mise en train de la machine de battage, aussi bien que pour l'arrêter sans difficulté, on y a appliqué deux soupapes de Cornouailles à l'entrée et à la sortie de la vapeur du cylindre, de sorte qu'un très-petit effort de la part du conducteur-mécanicien suffit pour diriger tous les mouvements de l'appareil.

L'application de ces soupapes est une innovation

faite sur les conseils de M. Colson, ingénieur de la Société de Haine-Saint-Pierre; les premières machines de battage qui furent établies par M. Kind, portaient une glissière ordinaire dont la manœuvre était très-difficile.

Il y aurait des inconvénients graves, sans qu'il en résultât grande économie, à tenter l'application d'un mouvement mécanique pour faire marcher les soupapes d'introduction et de sortie de la vapeur; car, ainsi que nous l'avons dit ci-dessus, les mouvements de l'appareil de sondage sont excessivement variables, et il importe que le machiniste ait toujours en main son levier de mouvement, non-seulement afin de pouvoir diriger cette marche irrégulière, mais aussi pour être capable d'arrêter instantanément la machine en cas d'accident.

La construction du piston métallique du cylindre batteur doit être tout particulièrement soignée, en vue d'éviter le dévissage des écrous qui pèsent sur les ressorts; ce dévissage tend constamment à se produire par les vibrations que le piston et tout l'appareil suspendu au balancier reçoivent à chaque pulsation.

La tige de ce piston doit être guidée verticalement par deux poulies en fonte ou en bois, dont l'utilité n'a pas besoin d'être démontrée.

Le cylindre batteur employé à Saint-Vaast a $0^m,60$ de diamètre; sa course *maximum* est de 1 mètre; le bras du levier du côté de l'appareil de sondage est de $3^m,35$ et celui de la machine de $3^m,67$. Cette dernière est donc capable de soulever une charge d'environ 10.000 kil., lorsque la pression de vapeur est à 4 atmosphères.

Balancier. Le balancier *bb'* (*fig.* 1, Pl. 1) qui sert à transmettre le mouvement du cylindre batteur à l'appareil de sondage, est formé de deux longues pièces de bois su-

perposées et présentant, réunies, une section de 0m,75 de hauteur sur 0m,35 de largeur; elles sont maintenues ensemble par des carcans en fer, placés de distance en distance. La pièce du dessus est en sapin et la pièce du dessous en bois de hêtre, ce qui a pour but de rendre le balancier plus élastique dans la partie supérieure, où, par le fait du mouvement de la machine, les fibres du bois tendent à s'allonger plus que dans la partie inférieure.

Le balancier porte à l'une de ses extrémités une pièce ou arc de cercle, sur laquelle s'enroule la chaîne de suspension de l'appareil; l'autre extrémité est prolongée au delà du point d'attache de la chaîne du piston à vapeur, afin de pouvoir venir frapper contre une pièce de contre-coup dont nous parlerons ci-dessous.

Le balancier est assis sur un axe en fer, qui joue dans deux crapaudines libres, c'est-à-dire qui permettent de soulever le balancier et de le déplacer, ce qui devient nécessaire lorsqu'on doit retirer les outils du puits, soit pour les réparer, soit pour procéder à l'enlèvement des déblais. En effet, la tête du balancier, qui se trouve au centre du puits lorsque l'on travaille au forage, gênerait le passage des tiges de suspension et des outils, lorsqu'on doit les faire sortir; on est donc obligé de reculer le balancier en arrière pour laisser libre l'ouverture du puits.

Cette manœuvre se fait avec facilité : d'une part, on accroche la tête du balancier avec la corde de la machine d'extraction, et, d'autre part, on le soulève au moyen d'un petit cabestan établi dans ce but, et qui lui imprime un léger mouvement de recul. La même manœuvre, faite en sens inverse, permet de remettre le balancier à sa place, lorsqu'on veut reprendre le travail de forage.

Pièce de ressort.

Enfin, un organe important de l'appareil de battage est la pièce de ressort placée en arrière du cylindre à vapeur, *fig.* 1. Le balancier *b*, *b* est prolongé, ainsi que nous l'avons dit, au delà du point d'attache du piston ; son extrémité de ce côté vient passer entre deux brides en fer qui sont réunies au-dessus par un plateau solide contre lequel vient frapper le balancier, lorsque l'appareil de sondage retombe dans le puits, à chaque pulsation du cylindre batteur.

Les deux brides ou tirants en fer sont attachés, par leur partie inférieure, à une ou deux pièces en chêne de 8 à 9 mètres de longueur *c*, *c*, qu'on nomme la pièce élastique ou de contre-coup. Cette pièce élastique est enterrée et est, en outre, assujettie à d'autres pièces de bois, placées à 3 ou 4 mètres sous le sol, et recouvertes de terre bien damée.

Le but de toute cette construction est d'amortir instantánément le coup du balancier, ce qui évite le choc du piston à vapeur contre le couvercle du cylindre, et permet de recommencer aussitôt un nouveau mouvement d'ascension de l'appareil de sondage.

Machine-cabestan.

Pour descendre le trépan au fond du puits, comme pour l'en retirer lorsqu'il a fonctionné assez longtemps pour devoir être soumis à des réparations, ou bien pour faire l'extraction des déblais au moyen de la cuiller, on fait usage d'une machine à vapeur rotative que nous appellerons *machine-cabestan ;* c'est un cylindre horizontal ordinaire de la force de 20 chevaux, attelé à un système d'engrenages doubles, qui transmettent le mouvement à une bobine, sur laquelle s'enroule le câble qui sert à descendre ou à remonter les outils.

Le diamètre du piston de la machine employée à

Saint-Vaast est de $0^m,40$, sa course de $0^m,70$; les engrenages ont respectivement :

1er pignon $0^m,40$; 1er engrenage $1^m,64$;
2e pignon $0^m,84$; 1er engrenage $2^m,80$;
La bobine a 1 mètre de diamètre minimum.

L'effort transmis à la corde d'extraction est d'environ 12.000 kil., en admettant une pression de vapeur de 4 atmosphères. La vitesse d'ascension est de $0^m,15$ à $0^m,20$ par seconde, la machine donnant 30 coups de piston par minute. Cette vitesse est très-convenable pour éviter les accidents, lorsqu'on remonte le trépan ; il serait même dangereux de l'augmenter, car l'outil frotte toujours quelque peu contre les parois du puits, et il pourrait rencontrer de petites aspérités qu'il importe de ne pas heurter trop brusquement.

Le service de la *machine-cabestan* n'est pas régulier, en ce sens qu'elle ne travaille que la moitié du temps à charge. En effet, pour retirer l'outil de sondage on attache la corde d'extraction à l'extrémité de la tige supérieure, et l'on remonte tout l'appareil de 15 mètres de hauteur; puis on dévisse une tige de suspension ; ensuite on redescend la corde à vide, et l'on remonte de nouveau à 15 mètres de hauteur. Cette opération se répète successivement, jusqu'à ce que l'outil arrive au jour.

La *machine-cabestan* doit donc marcher à vide pour redescendre la corde, chaque fois qu'elle a élevé la charge de 15 mètres.

On pourrait sans doute gagner du temps dans la manœuvre, et parer à cet inconvénient, en plaçant deux câbles; mais alors il faudrait employer certains artifices pour que la conduite restât parfaitement au centre du puits, et cette complication dans les appareils serait une cause d'accidents, qu'il importe tout

particulièrement d'éviter dans ce genre de travail.

Afin de rendre l'inconvénient signalé, moins sensible, nous avons fait appliquer sur l'arbre de la bobine un contre-poids, qui descend dans un petit puits de 15 ou 16 mètres de profondeur, toutes les fois que la machine enlève l'appareil de sondage, et qui est relevé lorsqu'elle marche à vide. Ce moyen présente, outre l'économie de vapeur, l'avantage de faciliter la descente de l'appareil, ce qui est souvent plus difficile que de le remonter ; car il faut alors une attention très-grande de la part du machiniste, qui doit faire marcher sa machine comme on dit à contre-vapeur.

Appareils de draguage. Cuiller (Pl. III, *fig.* 36, 37 et 38).

La cuiller dont on se sert pour l'extraction des déblais provenant du forage, est un cylindre en tôle ayant 1 mètre de diamètre et 2 mètres de hauteur ; il porte un fond avec deux clapets.

La construction spéciale de cet appareil mérite d'être mentionnée : afin d'en faciliter la manœuvre et de permettre de la vider facilement, lorsqu'elle arrive à l'orifice du puits, remplie de la bouillie épaisse qu'elle a ramenée du fond de l'excavation, la cuiller est suspendue par une espèce d'anse de panier, qui est fixée sur un axe en fer passant un peu au-dessus du centre de gravité du cylindre ; il en résulte qu'il suffit d'un léger effort pour lui imprimer un mouvement de bascule et la renverser. Un taquet avec clavettes, fixé sur une seconde anse placée dans un plan perpendiculaire à celui de la première, permet de rendre ce mouvement de bascule impossible, lorsqu'on veut redescendre la cuiller.

C'est à l'aide de la *machine-cabestan* que se fait le curage à la cuiller, soit qu'on se serve des tiges rigides de l'appareil de sondage, ou bien que l'on emploie une corde.

Le curage au moyen des tiges rigides se fait en laissant la dernière tige de suspension attachée au câble de la machine, et en imprimant à ce câble un petit mouvement de va-et-vient, c'est-à-dire de montée et de descente, qui agite la cuiller dans la bouillie et la fait remplir plus ou moins parfaitement.

On peut aussi se servir du cylindre batteur pour faire cette opération, en attachant la dernière tige de suspension au balancier, et en produisant le même mouvement oscillatoire que s'il s'agissait de forer.

Le premier mode d'opération est plus expéditif, mais il n'est pas toujours parfait; il arrive fréquemment que, dans les terrains dont la bouillie se dépose facilement, ou bien encore dans les roches qui se détachent par éclats, la cuiller ne peut pas se remplir convenablement en la suspendant au câble, tandis que lorsqu'on fait usage du *batteur*, l'opération marche très-bien; car on peut répéter vivement les oscillations, de façon à produire un léger choc sur la masse liquide, ce qui déplace les corps pesants déposés au fond du puits et les fait sauter par soubresauts dans la cuiller.

Nous avons remarqué, dans le cours de nos travaux, qu'il a été rarement possible de faire un curage complet sans se servir du *batteur*, et c'est pour ce motif que, à plus forte raison, nous avons cru inutile d'essayer le curage à la corde simple, sans tiges rigides, c'est-à-dire le *procédé chinois*, qui présente peut-être dans les petits sondages un très-grand avantage au point de vue de la rapidité d'exécution, mais qui n'est pas sans inconvénients. Pour employer ici ce procédé, il faudrait placer une poulie spéciale au-dessus du puits, et une corde ronde s'enroulant sur une bobine indépendante de celle du câble d'extraction; on serait donc obligé de mettre un embrayage, qui permettrait de transmettre le mou-

vement de la machine, alternativement au câble plat et à la corde ronde, ce qui ne laisserait pas que d'occasionner des complications dans les manœuvres.

La perte de temps résultant de la descente des tiges rigides n'est pas d'ailleurs aussi considérable qu'on pourrait le croire, et elle est largement compensée par les avantages que cela présente. Nous verrons, en effet, dans les relevées que nous donnerons plus loin, que le nombre d'heures employées au curage, dans les travaux de Saint-Vaast, ne dépasse pas 20 p. 100 du temps absorbé par le travail utile du forage.

La cuiller, telle que nous l'avons décrite ci-dessus, ayant 1 mètre de diamètre, est employée lorsqu'on fait le puits préparatoire, de même que lorsqu'on travaille à l'élargissement; le petit puits est fait précisément en vue de faciliter l'extraction des débris de roches, lors de l'exécution du grand puits.

La capacité de cette cuiller est d'environ $1^{mc},50$; en admettant que la bouillie qu'on retire de l'excavation pèse en moyenne 2.500 kilogr. par mètre cube, le poids utile à extraire pour une cuiller pleine dépasserait donc 3 à 4.000 kilogr., ce qui est déjà considérable. Or la cuiller agit en pompant, et elle doit couvrir, pour produire son effet, une grande partie de la surface du puits que l'on fore; il en résulte que, pour faire directement, c'est-à-dire sans puits préparatoire, le curage d'un trou de sonde de $4^{m},25$ de diamètre, il faudrait employer des cuillers de 3 à 4 mètres, ce qui serait peu praticable et exigerait des machines très-puissantes.

Il est des circonstances cependant où le percement du puits préparatoire présenterait des difficultés, par exemple, s'il s'agissait de passer des sables boulants. Il faudrait alors modifier la marche du travail, soit en

attaquant directement le percement du grand puits, soit en ayant recours à quelques moyens particuliers, tels que ceux que nous avons indiqués dans la spécification de notre brevet du 25 juin 1855.

Dragueur (fig. 43 et 44, Pl. 11).

M. Kind a imaginé encore un appareil spécial pour faire le curage, lorsqu'on procède à l'élargissement du puits préparatoire.

Cet instrument, que nous nommerons le *dragueur*, s'adapte, comme la cuiller à soupapes, à l'extrémité de la tige de sondage; il porte à sa partie inférieure un cylindre en tôle dont le fond est garni de deux clapets, tenus fermés par des verroux, pendant l'opération du draguage. A sa partie supérieure, l'instrument est armé de deux bras qui se terminent à leurs extrémités par des palettes ou mains de tôle, destinées à racler le fond du puits et à faire tomber les débris de roches qui s'y trouvent dans le cylindre placé au-dessous. Ces bras sont coudés et viennent former, au moyen d'articulation à charnières, un parallélogramme dont le jeu a pour effet d'éloigner ou de rapprocher alternativement les palettes.

La figure 43 fait voir l'instrument dans la position où il se trouve lorsque les bras sont ouverts.

Nous allons tâcher de faire comprendre le jeu de cet appareil.

Les bras et le paralléllogramme sont solidaires de la tige de sondage, lorsque l'instrument y est suspendu, et ils subissent tous ses mouvements, tandis que le cylindre en tôle en est détaché, en ce sens, du moins, qu'il est fixé à deux tringles formant glissière et qui permettent à la tige de sondage de faire un léger mouvement de va-et-vient sans le communiquer au cylindre. Cela étant, voyons ce qui se passe dans la manœuvre de l'outil : lorsqu'il part de la surface, son

parallélogramme est fermé de même que les bras portant les palettes; quand il arrive au fond, le cylindre entre dans le petit puits préparatoire, et les mains de tôle viennent se placer au niveau de la banquette du grand puits; si l'on appuie alors de tout le poids de la tige de sondage, le parallélogramme s'ouvre et force les bras à palettes à s'écarter l'un de l'autre; si l'on fait ensuite le mouvement contraire, c'est-à-dire si l'on relève la tige de sondage, les bras se rapprochent, et les palettes, en frottant sur la banquette, amènent les débris de roches dans la cuiller.

En recommençant cette opération un certain nombre de fois, et en imprimant à l'instrument un léger mouvement de rotation, à chaque oscillation de va-et-vient, on finira par nettoyer complétement la surface du grand puits.

Afin de modérer l'effort produit par la traction que l'on opère sur la tige de sondage, lorsqu'on ferme les bras pour draguer, on a adapté à l'appareil deux pistons en bois qui se meuvent dans des mâchoires dont on règle le frottement à volonté au moyen d'une petite vis de pression; ces mâchoires sont fixées à la tige inférieure portant la cuiller; le poids de cette dernière a donc pour effet d'enrayer la fermeture de l'outil; il en résulte que les bras se rapprochent doucement et produisent tout l'effet que l'on doit en attendre.

Quand l'opération que nous venons de décrire a été répétée pendant un certain temps (15 à 20 minutes), on remonte le *dragueur* à la surface et l'on vide la cuiller, en ouvrant les verroux des clapets qui forment le fond.

Le *dragueur* est un outil fort ingénieux, il est vrai; mais il ne faut en faire usage que le moins possible, car il n'est pas sans danger. Nous sommes même d'avis

qu'on pourrait l'abandonner complétement, si ce n'est comme instrument de sauvetage, ainsi que nous le dirons ci-après. Nous ne l'avons employé qu'une seule fois, dans les travaux de Saint-Vaast, pour faire le draguage, et nous avons eu à le regretter; c'était en vue de ramasser les silex qui se détachaient par petits blocs. La cuiller ayant été calée dans le petit puits, sans doute par des débris de roche qui se seront introduits entre la tôle et le terrain, nous avons brisé l'instrument, en tirant dessus pour le dégager, ce qui nous a occasionné un retard de plusieurs jours.

En somme, le but de M. Kind en imaginant cet outil a été de gagner du temps, en permettant de retirer, sans les broyer de nouveau, les terrains que l'on était obligé de faire tomber dans le petit puits, et particulièrement les roches qui se détachent par éclats; mais si l'on fait le draguage avec la cuiller ordinaire au moyen du cylindre batteur, on parvient à retirer immédiatement une grande partie de ces terrains, et, selon nous, la perte de temps résultant de la nécessité de broyer, au petit trépan, ce qui ne peut pas être enlevé de cette manière, est moins à craindre que les accidents inhérents à l'usage du *dragueur*.

Enfin nous mentionnons, pour mémoire, une troisième cuiller de draguage, dont M. Kind a fait usage à String, et qui présente plus de danger encore que le dragueur : c'est un cylindre en tôle, que l'on introduit dans le petit puits préparatoire, à quelques mètres de profondeur au-dessous de la banquette du grand puits; on sonde alors avec le grand trépan, et lorsqu'on a fait un avancement tel que l'on puisse supposer que la cuiller est pleine de débris de roches, on va la reprendre avec le crochet (Pl. II, *fig.* 46), dit le *loup*, pour la ramener à la surface et la vider; puis on la

Cuiller pour aller à fond (Pl. II, *fig.* 45).

redescend pour recommencer l'opération de la même manière.

Nous avons fait construire cette cuiller de fond, pour nos travaux de Saint-Vaast, mais nous n'en avons jamais fait usage.

Outils de sauvetage.

Une des particulités remarquables des outils de forage employés par M. Kind, est leur simplicité et leur petit nombre. Il en en est de même des appareils de sauvetage ; nous n'en avons que trois principaux, savoir : le *crochet de salut*, la *fanchère* et le *grappin*.

Crochet de salut (Pl. II, *fig.* 47 et 48).

Cet outil est d'une simplicité extrême, et c'est celui dont on fait le plus souvent usage dans les accidents ordinaires des sondages, qui sont les bris de tiges de suspension.

Les ferrures des tiges en bois portent, ainsi que nous l'avons dit, un petit épaulement qui sert à les recevoir sur les fourches ; c'est par cet épaulement que, au moyen du crochet de salut, on peut raccrocher l'appareil de sondage lorsqu'une tige vient à casser.

On remarquera sur le dessin que cet outil est ouvert en épicycloïde ; c'est afin qu'on puisse accrocher la tige, qui, après la rupture, se porte obliquement contre les parois du puits : on la ramène doucement vers le centre de l'excavation, et là, en tournant adroitement, on la saisit.

Nous avons eu assez souvent des accidents de ce genre, dans le cours de nos travaux, et nous devons dire que le crochet de salut ne nous a jamais fait défaut, en ce sens que, lorsque la tige était saisie à l'épaulement, l'appareil de sondage n'est jamais retombé dans le puits.

Fanchère (Pl. III, *fig.* 51 et 52).

Il y a des cas ou l'emploi du crochet de salut

serait difficile, et quelquefois même cet outil ne pourrait pas servir. C'est ce qui aurait lieu, par exemple, si la douille placée entre la glissière et le trépan venait à s'arracher; on ne pourrait alors saisir l'arbre du trépan avec un crochet. De même si une tige était cassée immédiatement au-dessous de l'épaulement, c'est-à-dire à peu de distance de la vis, il faudrait, pour réussir avec le crochet de salut, l'accrocher à la tige immédiatement inférieure à celle qui est cassée, et le bout de 15 mètres de longueur qui remonterait obliquement dans le puits en retirant l'appareil de sondage, pourrait frotter et même s'arc-bouter contre les parois. Dans ce cas, on peut faire usage de la *fanchère*, qui a été imaginée en vue d'accrocher des objets ronds ou carrés, mais ne présentant pas d'épaulement.

La *fanchère* (1) se compose de deux pièces pouvant glisser l'une sur l'autre : la première est un sabot annulaire évasé en cône et qui est attaché, par deux lames, à la tige carrée qui surmonte l'outil; la seconde pièce est formée de deux mâchoires dentelées pouvant jouer dans le sabot, qui en limite l'écartement.

Lorsqu'on veut se servir de l'instrument, on sépare les mâchoires, au moyen d'une broche de bois, et on le présente ainsi sur la pièce que l'on veut saisir, une tige de sondage par exemple; la broche en bois cède à la pression de la tige, et cette dernière prend sa place. Si l'on tire alors sur l'appareil, la tige est serrée fortement entre les deux mâchoires dentelées, et ne peut plus s'en détacher.

C'est là réellement un outil bien imaginé, mais qui

---

(1) Ce nom de fanchère est une corruption du mot allemand *fangscheere*, qui signifie outil pour saisir.

demande de l'habileté pour être employé avec succès. L'inconvénient qu'il présente, c'est que, si l'appareil à retirer du puits offrait de la résistance à l'enlèvement par la machine, ce qui pourrait arriver s'il était calé ou retenu par l'une ou l'autre cause, il serait alors impossible de détacher la *fanchère* pour tenter d'autres moyens de sauvetage; car on ne peut séparer les mâchoires que lorsque l'outil est ramené à la surface.

Nous avons employé cet instrument dans des opérations difficiles, et notamment pour retirer une colonne de tubes de 0m,20 de diamètre et de 90 mètres de longueur, qui se trouvait dans un puits et qui avait été brisée en cinq pièces; chacune de ces dernières a été saisie avec assez de facilité.

Garcin Pl. III, fig. 49 et 50).

Cet outil est employé avec avantage pour retirer les objets en fer ou en acier qui restent dans le puits, tels que les dents de *trépan* qui se cassent, les clefs ou les fourches que, par maladresse, on laisse tomber pendant les manœuvres. S'il fallait briser ou broyer ces objets au moyen du *trépan*, on y parviendrait le plus souvent, mais avec difficulté et en retardant la marche régulière des opérations.

Le *grappin* a une grande analogie avec le *dragueur*, dont nous avons donné la description. Comme lui, il porte deux bras, à l'extrémité desquels on a fixé des griffes au lieu de palettes; ces bras sont aussi articulés en parallélogramme, au moyen de charnières; la principale différence qu'il présente, c'est que les tringles qui forment glissière sont chargées au moyen de poids, que l'on place à volonté sur une traverse (*aa*) qui leur est attachée, et que c'est cette charge qui occasionne le frottement des griffes contre le fond du puits.

Les tringles sont soulevées au moyen d'une corde, dont on tient le bout à la surface, et que l'on ma-

nœuvre de la manière suivante : l'outil est fermé quand il est suspendu à la tige de sondage et qu'on laisse porter la charge sur la traverse; lorsqu'il a été descendu dans le puits, on soulève la charge en tirant la corde; on pousse la tige de sondage, dont le poids fait ouvrir les bras du *grappin*, et les griffes viennent toucher le fond du puits; dès lors si, d'un côté, on lâche la corde pour laisser porter la charge qui se trouve sur la traverse (*aa*), et que, d'un autre côté, on tire doucement sur la tige de sondage, les bras de l'outil se rapprochent en grattant le fond, et les griffes viennent se rejoindre en retenant entre elles les objets consistants qui se trouvaient sur leur parcours.

On peut comprendre aisément la manœuvre de cet outil; elle consiste, en définitive, à soulever la charge avec la corde, pousser la tige de sondage, lâcher la corde, puis relever la tige de sondage. En répétant cette opération tout autour du puits, on parvient ainsi à repêcher tous les objets qui pourraient s'y trouver, et à les ramener au jour.

Il est à remarquer que le frottement des griffes sur le fond du puits est d'autant plus grand que la charge placée sur la traverse (*aa*) est elle-même plus considérable.

On peut, avec le *grappin*, ramener des objets de très-petit volume : l'un de nos sondeurs est parvenu, à l'aide de cet instrument, à retirer une montre qu'il avait laissé tomber dans le puits pendant le travail.

On peut de même extraire des pièces très-lourdes et volumineuses : c'est ainsi que l'on a pu repêcher un bloc de maçonnerie de 1^{m},80 de longueur, 1 mètre de largeur et 0^{m},60 de hauteur. (Voir l'extrait du journal des travaux de Péronnes.)

Le *dragueur* peut aussi être employé comme outil

de sauvetage, dans des conditions analogues à celles où l'on emploie le *grappin*.

Ce dernier est plus spécialement mis en usage dans les petits puits préparatoires, et le *dragueur* dans les grands puits; car, ainsi que nous l'avons dit, l'un de ces outils gratte le fond du puits et accroche dans ses griffes les objets qui s'y trouvent, tandis que l'autre, avec ses palettes, les amène dans une cuiller qui lui est attachée.

Néanmoins, eu égard aux inconvénients qu'entraîne quelquefois l'application du *dragueur*, nous avons quelquefois employé de préférence un *grappin* de grande dimension pour faire tomber, de la banquette dans le petit puits préparatoire, les objets qui pouvaient résister aux coups du *trépan;* il fallait ensuite les retirer avec le petit *grappin*, quand on ne parvenait pas à les pomper dans la cuiller de draguage.

Vérin (*fig.* 39, 40 et 43, Pl. II).

Enfin, pour compléter la série des outils de sauvetage, nous ferons connaître le *vérin*, outil accessoire, qui sert pour recevoir les tiges, lorsque ces dernières ont été brisées et qu'elles ont perdu l'épaulement qui sert à les accrocher sur les fourches de retenue.

Cet outil est composé de deux pièces réunies, d'un côté par une charnière, et de l'autre par une vis de rappel qui permet de les rapprocher ou de les éloigner. Au milieu de ces deux pièces, on a découpé, moitié dans chacune d'elles, un carré représentant la section d'une tige, et c'est dans ce carré que l'on serre fortement la verge que l'on veut recevoir.

Il faut que l'outil soit fait avec précision; car lorsqu'on reçoit ainsi une tige cassée, le *vérin* doit porter, sans glisser, toute la charge de l'appareil de sondage qui reste au-dessous du point de rupture.

Pour bien faire comprendre le travail, il est nécessaire de donner une description des particularités qui distinguent l'ensemble du bâtiment de sondage. *Bâtiment de sondage.*

Les *fig.* 1, 2 et 3, Pl. I, donnent le plan et l'élévation de ce bâtiment, qui comprend la tour de sondage proprement dite, la baraque du trépan, et le bâtiment des machines.

La tour de sondage (A) peut être établie, ainsi que nous l'avons fait au puits de Saint-Vaast, de façon à servir plus tard de bâtiment d'extraction.

M. Kind, dans ses premières entreprises et notamment au puits de Westphalie, avait fait monter pour bâtiment de sondage, une tour en bois de grandes dimensions, qui avait non-seulement l'inconvénient de coûter fort cher, mais aussi de présenter peu de stabilité, malgré les chaînes de consolidation que l'on avait attachées extérieurement à des pieux fichés en terre, d'une part, et au sommet de la tour, de l'autre. En outre, cette construction en bois ayant dû être ultérieurement remplacée par un bâtiment définitif en maçonnerie, elle a occasionné une grande perte de temps, puisqu'il a fallu suspendre toutes les opérations du puits pendant la durée du démontage de la baraque en bois et de la reconstruction du bâtiment définitif.

Il est facile, au contraire, de monter ce dernier en même temps que l'on installe les machines de sondage.

La tour en maçonnerie établie au puits de Saint-Vaast, est un simple bâtiment quarré de 9 mètres de côté à l'intérieur, et de 14 mètres de hauteur, à partir du sol. Au milieu de la tour se trouve le puits, que l'on a creusé sur un diamètre de 5^{m},50 jusqu'à 3 mètres de profondeur, où se trouve placé le plancher dit de travail.

L'espace vertical entièrement libre pour la ma-

nœuvre des pièces, depuis le plancher jusqu'au sommet de la tour, est donc de 17 mètres.

Au-dessous du plancher de travail et jusqu'à la tête du niveau (à 35 mètres), le puits est maçonné à $4^m,50$ de diamètre, afin que le grand *trépan* de $4^m,25$ y passe fort à l'aise.

Quatre ouvertures ou fausses portes de 3 mètres de largeur et de 9 mètres de hauteur, jusqu'à la naissance de voûte, se trouvent percées dans les quatre murs de la tour de sondage : l'une, du côté de la baraque du *trépan*, destinée à laisser passer facilement ce dernier avec toutes ses pièces assemblées ; l'autre, en face, pour laisser passer la cuiller de draguage lorsqu'il s'agit de la vider ; la troisième, du côté du cylindre *batteur* et de la *machine-cabestan ;* et enfin la quatrième ouverture, en face de la troisième, sans but pour le travail du sondage, a été ménagée dans la maçonnerie pour toute éventualité ; elle a trouvé son utilité lors de la descente des pièces de cuvelage.

A 9 mètres au-dessus du sol, soit à 12 mètres du plancher de travail, se trouvent placées parallèlement, dans le sens de la baraque du *trépan*, deux fortes pièces de bois espacées de $1^m,80$ et fixées contre les murs du bâtiment, aux endroits où elles passent dans les fausses portes ; elles sont prolongées au delà de ces dernières ouvertures, d'une part, dans la baraque du *trépan* et, de l'autre, un peu en dehors de la tour, du côté où l'on doit pousser la cuiller du draguage pour la vider. Sur ces deux pièces de bois, qui sont placées horizontalement et qui ne sont réunies entre elles par aucune traverse, si ce n'est à leurs extrémités, on a posé des rails qui forment un chemin de fer, sur lesquels on fait rouler les chariots portant les *trépans* de la cuiller de draguage.

Le déplacement de ces outils se fait ainsi avec la plus grande facilité, malgré leurs dimensions et leur poids considérables.

Les chariots sont tout simplement des trains portés sur quatre roues; deux pièces de bois formant *bottes* sont posées sur ces trains et permettent d'y tenir suspendus, au moyen d'une fourche, les outils dont il s'agit.

Le *trépan* se manœuvre toujours d'un côté, et la cuiller de l'autre, c'est-à-dire que l'on fait arriver successivement l'un ou l'autre de ces outils au milieu du puits, en repoussant en arrière et dans sa case spéciale celui qui doit rester au repos.

A 13 mètres du sol, soit à 16 mètres du plancher de travail, se trouvent, dans la tour de sondage, quatre fortes poutres en chêne, placées en croix et encastrées dans les murs; c'est sur ces poutres qu'est montée la poulie sur laquelle s'enroule la corde destinée au service du sondage. On ne s'étonnera pas de la grande solidité donnée à cette construction, si l'on songe à l'énorme charge qu'il s'agit de supporter : le grand *trépan* avec ses tiges de suspension pèse de 8 à 9.000 kilogrammes, et il faut souvent exercer sur le câble des efforts bien supérieurs encore à cette charge, lorsqu'on remonte l'outil; car ce dernier frotte souvent ou même s'accroche le long des parois du puits.

Les deux poutres du chemin de fer, qui ont 9 mètres de portée entre les supports placés aux murs de la tour, sont consolidées par quatre tirants en fer, qui les relient aux pièces qui portent la poulie; de cette manière, on a pu se dispenser de mettre des supports intermédiaires, qui gêneraient beaucoup auprès du puits.

Enfin, à environ $1^m,50$ au-dessous de l'axe de la poulie

se trouve un petit plancher, où l'on vient se placer pour suspendre les tiges de sondage, soit pour les accrocher à la corde lorsqu'on veut les descendre, soit pour les décrocher quand on les remonte; une forte barre en fer sur laquelle on fait rouler les crochets de suspension est établie à ce niveau.

La baraque du *trépan* (B) est tout simplement un bâtiment en planches, légèrement bâti, comme construction provisoire; il doit servir uniquement d'abri pour rentrer le *trépan* et y exécuter les réparations plus ou moins nécessaires chaque fois qu'on le ramène au jour.

Il n'y a pas de bâtiment spécial pour la cuiller, parce qu'elle n'exige pas un grand espace; les poutres du chemin de fer, prolongées de 1 mètre à 1^{m},50 hors de la tour, du côté opposé à la baraque du *trépan*, laissent une place suffisante pour renverser cet appareil de draguage, lorsqu'on veut le vider, et pour l'y laisser suspendu quand on n'en fait pas usage.

Le bâtiment des machines ne présente aucune particularité; c'est aussi une construction provisoire, faite avec le plus de légèreté et le plus d'économie possible. Il renferme la machine rotative qui sert à l'extraction des déblais, avec tous ses accessoires, engrenages et bobines, le cylindre *frotteur*, une petite machine alimentaire avec pompes à eau froide et à eau chaude, et enfin la chaudière à vapeur; le tout installé dans une chambre de 9 mètres de longueur sur 10 mètres de largeur; l'un des pilastres de la tour sert de cheminée pour la chaudière.

La *machine-cabestan* est à un niveau supérieur de 2 à 3 mètres au-dessus du sol, et le cylindre *batteur* est enterré dans une cave, de telle sorte que le balancier de battage a son axe au niveau du sol, et que la pièce élastique de contre-coup passe entre les murs et au-dessous

des engrenages, en se prolongeant un peu en dehors du bâtiment.

Au delà de l'extrémité de la pièce élastique se trouve le petit puits établi pour loger le contre-poids d'équilibre.

Une forge G est installée à côté de la baraque du *trépan*, pour la réparation des outils.

CHAPITRE II.

CONSIDÉRATIONS SUR LA MARCHE DES APPAREILS DE SONDAGE.— RÉSULTATS DES TRAVAUX EXÉCUTÉS AU PUITS DE SAINT-VAAST.

Les détails que nous avons donnés sur l'installation des bâtiments et sur les outils de sondage, nous dispensent d'entrer dans de grands développements sur les différentes opérations auxquelles donne lieu le forage des puits par le procédé Kind. Les manœuvres sont analogues dans leur ensemble, à celles que l'on exécute pour faire les petits sondages ou puits artésiens; toutefois elles ont ici une importance toute autre, par suite des dimensions des pièces employées. *Marche des appareils.*

Ainsi qu'on l'aura remarqué, tout a été combiné par M. Kind pour que les ouvriers sondeurs n'aient jamais à soulever aucun poids : ils font rouler les *trépans*, les cuillers à draguer et tous les outils, en général, sur le chemin de fer de service, ce qui n'exige qu'un léger effort de leur part; la *machine-cabestan* fait le reste.

Il suffit de quatre hommes, deux au plancher de travail et deux autres se plaçant successivement au plancher du chemin de fer et à celui de suspension des tiges, pour faire le travail auquel donne lieu, soit la descente, soit la remonte des outils de forage ou de draguage.

La mise en marche de l'appareil de sondage, lorsqu'il

a été descendu dans le puits en percement, se fait aussi avec toute facilité : on laisse entrer doucement la vapeur sur le piston du cylindre de battage, de manière à soulever le *trépan* à la hauteur voulue; puis on le laisse retomber par son poids sur la roche à broyer. L'amplitude de la course du *trépan* augmente ensuite insensiblement, de manière à atteindre $0^m,25$ à $0^m,30$ de hauteur, lorsqu'on est arrivé à une marche régulière. La course varie, du reste, d'après le degré de dureté des roches et en raison de leur homogénéité. On donne ordinairement de 18 à 20 coups de piston par minute; il est prudent de ne pas aller au delà, afin que le machiniste ne fasse pas de fausse manœuvre dans le maniement de son levier.

Les parties les plus exposées à se briser par les mouvements alternatifs du battage, sont les tirants fixés à la pièce de contre-coup, et les chaînes qui attachent au balancier le piston à vapeur, d'une part, et l'appareil de sondage, de l'autre. On doit avoir soin de tenir toujours disponibles, des pièces de rechange, afin que les petits accidents qui, on le conçoit, doivent être assez fréquents dans des travaux de ce genre, puissent être promptement et facilement réparés, et n'arrêtent pas trop longtemps la marche du sondage.

Le battage se fait ordinairement pendant huit heures consécutives; cela varie toutefois d'après la nature des terrains que l'on doit forer : les uns, très-durs, exigent un renouvellement fréquent des dents du *trépan*, les autres, moins consistants, doivent être dragués assez souvent pour éviter que les matières en suspension dans l'eau ne se déposent au fond du puits, et ne rendent nulle, ou du moins ne diminuent notablement, l'action de l'outil foreur.

Lorsque l'on a travaillé le nombre d'heures jugé né-

cessaire, on remonte l'appareil de sondage, et l'on procède à l'enlèvement des déblais au moyen de la cuiller à draguer. Cette dernière, ramenée du fond de l'excavation pleine de détritus est reçue sur son chariot; on la roule ensuite le long du chemin de fer de service pour l'amener en dehors de la tour de sondage, où on la vide en la renversant par un léger mouvement de bascule.

La bouillie, formée de détritus, se dessèche fort lentement; on doit avoir soin d'établir un double fossé pour la recevoir, afin que l'un se remplisse pendant qu'on laisse sécher la matière du second, ce qui est nécessaire pour pouvoir l'enlever périodiquement.

Pendant qu'on fait le curage du puits, ce qui dure ordinairement une couple d'heures, on s'occupe de remettre le *trépan* en bon état; le forgeron le visite sur tous les points, et remplace les dents dont le taillant est usé. Au moyen d'un calibre, qu'il place dans un trou foré à cet effet au centre de l'outil, il s'assure que ce dernier a conservé son diamètre, ce qui est de la plus grande importance pour avoir un forage régulier.

Il est à recommander d'avoir toujours deux montures de dents de rechange; car dans les terrains siliceux, par exemple, il faut fréquemment les renouveler, et l'on a beaucoup de peine à les réparer à mesure qu'elles se détériorent. En vue de parer à cet inconvénient, nous avions essayé des dents en acier fondu, au lieu de celles en fer aciéré que l'on emploie généralement. Ces dernières, en définitive, valent mieux encore que les autres; car il est très-facile de les recharger d'acier et de les remettre sous toutes les formes, tandis que l'acier fondu ne se laisse que difficilement travailler.

La marche du sondage telle que nous venons de l'in-

diquer, est celle que l'on suit pour le percement du puits préparatoire.

Lorsqu'il s'agit de procéder à l'élargissement, pour former le grands puits, on agit de la même manière, il est vrai; mais on peut sonder plus longtemps sans être obligé de retirer le *trépan*, puisque les déblais provenant du forage tombent dans le petit puits, et ne mettent pas obstacle à l'action de l'outil; le curage dure alors plus longtemps aussi, parce que l'on peut descendre la cuiller un bon nombre de fois consécutives, avant de reprendre le travail au *trépan*.

M. Kind, dans ses travaux de Stiring et de Westphalie, a fait forer à fond le petit puits préparatoire avant de commencer l'élargissement; nous avons suivi la même marche à Saint-Vaast, mais c'était en vue de faire une reconnaissance des terrains superposés au schiste houiller. Ce mode d'opération présente des inconvénients : si on laisse les débris du grand sondage s'accumuler dans le petit puits, ils finissent par se tasser et rendre impossible le curage à la cuiller; on est alors obligé de les battre de nouveau avec le petit *trépan*, ce qui fait perdre du temps et augmente les dépenses. Si l'on curait le petit puits à mesure qu'on avance avec le grand, la profondeur inutile où l'on devrait prendre la bouillie entraînerait aussi des manœuvres plus longues, outre qu'on laisserait le petit puits libre, sur une grande hauteur, et, par conséquent, sujet aux éboulements pendant toute la durée du travail. C'est pour parer à ces inconvénients que, dans le forage du puits Sainte-Marie de Péronnes, nous avons fait suivre le travail du petit puits et celui du grand, c'est-à-dire que nous avons commencé par forer 15 mètres au petit diamètre, puis 10 mètres au grand, et ainsi de suite, de telle façon que le puits préparatoire était toujours en

avance d'au moins 5 mètres, ce qui est utile pour que le petit *trépan* soit maintenu bien vertical par ses guides.

Le personnel employé pour le forage des puits est fort restreint; il se compose : *Personnel du sondage.*

1° D'un contre-maître ou chef-sondeur;

2° D'un forgeron et d'un frappeur;

3° De deux bandes, de six hommes chacune, composée de : un machiniste, un chauffeur, un chef de bande et trois manœuvres.

Le chef-sondeur, habitant sur les lieux, surveille les travaux nuit et jour, et procède à la descente et à la remonte des appareils de sondage et de curage. Son intervention active n'est requise habituellement que deux fois par jour; il est là toujours pour les cas d'accidents.

Pendant toute la durée du forage, le travail étant des plus simples, des ouvriers-manœuvres ordinaires suffisent pour le tenir en activité; le machiniste conduit la *machine-cabestan*, lorsqu'il faut remonter les outils ou les descendre; en autre temps, il alterne avec le chauffeur pour diriger la marche du *cylindre-batteur.*

Le chef de bande et ses trois manœuvres sont placés sur le plancher de travail, où ils font tourner doucement l'appareil de sondage, à chaque mouvement d'ascension, au moyen d'un levier en bois enfourché à cet effet dans l'œillet du *tourne-sonde.* En outre, le chef de bande fait tourner *la vis de rappel* à mesure que l'outil descend par le forage; quand cela devient nécessaire, il place les bouts de rallonge des tiges, ou une nouvelle tige de 15 mètres.

Le travail marche nuit et jour; chacune des bandes d'ouvriers travaille 12 heures; à la fin de chaque semaine, ils changent de poste, c'est-à-dire que les ouvriers de jour deviennent les ouvriers de nuit *et vice versâ*.

Effet utile des travaux du puits de Saint-Vaast.

Prix de revient.

Le puits de Saint-Vaast (nº 3) avait à traverser les terrains aquifères, qui recouvrent le terrain houiller dans cette localité, sur une très-forte épaisseur : ce sont les marnes, les silex, les argiles glauconifères, de l'étage moyen, les argiles sablonneuses et les sables de l'étage inférieur du terrain crétacé. La première partie du puits, que nous avons creusé et garni d'un cuvelage en fonte, s'est arrêtée vers la base de l'étage moyen, sur le terrain appelé *tourtia* par les mineurs du pays.

Le travail a commencé par le forage d'un puits préparatoire de 1ᵐ,37 de diamètre, à partir de la tête de niveau (à 35 mètres) ; ce premier forage a été porté jusqu'à 135 mètres de profondeur, dans l'espace de cinq mois et demi, pendant lesquels il y a eu 121 jours de travail effectif et 51 jours de chômage.

L'élargissement, c'est-à-dire le forage du grand puits, au diamètre de 4ᵐ,25, a demandé près de sept mois ; il a été arrêté à la profondeur de 98 mètres, où l'on a trouvé un terrain solide pour poser le cuvelage. Pendant l'exécution de cette seconde opération, le travail n'a chômé que 17 jours.

Nous avons consigné, à la fin de ce rapport, dans un extrait du journal des travaux, quelques détails sur les accidents qui se sont présentés dans le cours des opérations ; nous nous bornerons donc à reproduire ici, dans un tableau analytique, les diverses périodes du travail.

TABLEAU A. *Forage du puits préparatoire de $1^m,37$ de diamètre.*

PÉRIODES DE TRAVAIL.	SONDAGE AU PETIT TRÉPAN. Nombre de descentes de l'outil.	SONDAGE AU PETIT TRÉPAN. Temps employé à descendre et remonter l'outil.	SONDAGE AU PETIT TRÉPAN. Temps employé à sonder.	CURAGE. Nombre de descentes de la cuiller.	CURAGE. Temps employé.	TEMPS absorbé par les retards.	AVANCEMENT.	PROFONDEUR totale.	OBSERVATIONS.
		heures.	heures.		heures.	heures.	mètres.	mètres.	
Du 14 septembre 1854 au 23 octobre, 30 jours de marche.	45	67	280	43	65	148	26	61	Marche irrégulière, 10 jours de chômage; travail de nuit suspendu pendant les premières semaines.
Du 24 octobre au 16 novembre.	»	»	»	»	»	»	»	»	24 jours de chômage pour transformation à faire aux machines et outils. — Voir l'extrait du journal des travaux.
Du 17 novembre au 31 décembre, 40 jours de marche. .	71	116	581	72	121	142	38	99	5 jours de chômage.
Du 1er janvier 1855 au 4 mars, 58 jours de marche.	115	242	759	163	335	56	26	135	5 jours de chômage.
Durée totale du travail, 172 jours, soit 5 1/2 mois, dont 128 jours de marche et 44 jours d'arrêt.	231	425	1620	278	521	346	100	135	44 jours de chômage.

TABLEAU B. *Forage du grand puits de 4m,25 de diamètre.*

PÉRIODES DE TRAVAIL.	SONDAGE AU GRAND TRÉPAN.			SONDAGE AU PETIT TRÉPAN.			CURAGE.		Temps absorbé par les retards ou les accidents.	Avancement.	Profondeur totale.	OBSERVATIONS.
	Nombre de descentes de l'outil.	Temps employé à descendre et remonter l'outil.	Temps employé à sonder.	Nombre de descentes de l'outil.	Temps employé à descendre et remonter l'outil.	Temps employé à sonder.	Nombre de descentes de la cuiller.	Temps employé.				
		heures.	heures.		heures.	heures.		heures.	heures.	mèt.	mèt.	
Du 5 juillet 1855 au 5 août, 32 jours de marche.	74	73	588	»	»	»	99	99	8	17,20	52,20	6 et 7 août de chômage pour nettoyer la chaudière.
Du 8 au 31 août, 24 jours de marche.	57	57	246	33	20	55	180	167	31	8,25	60,45	8 et 9 octobre nettoyage de la chaudière.
Du 5 septembre au 7 octobre 33 jours de marche.	97	96	299	35	27	76	191	215	79	11,25	71,70	11 et 12 novembre, nettoyage de la chaudière.
Du 10 octobre au 10 novembre, 32 jours de marche.	103	103	319	24	17	60	226	227	42	9,05	60,75	*Id.*
Du 13 au 30 novembre, 18 jours de marche.	42	42	149	28	28	66	122	122	25	4,90	65,65	1er au 5 déc., chômage pour réparer les machines et outils.
Du 6 au 24 décembre, 19 jours de marche.	73	73	259	»	»	»	88	88	36	6,35	92,00	25 et 26 déc., nettoyage de la chaudière.
Du 27 décembre au 11 janvier, 16 jours de marche.	52	52	199	10	10	19	94	94	10	3,60	95,60	12 et 13 janv., nettoyage de la chaudière.
Du 14 au 29 janvier 1856, 16 jours de marche.	41	41	159	15	15	24	93	97	48	2,40	98,00	
Total 190 jrs de marche et 19 jrs d'arrêt, sur 7 mois de travail.	539	537	2,218	145	117	300	1 093	1 109	279	63,00	98,00	19 jours de chômage.

Puits préparatoire. — Il résulte des détails renfermés dans le premier tableau (A), que le temps employé au forage du puits préparatoire peut se répartir comme suit : Puits préparatoire.

56 p. c. au forage proprement dit,
14 1/2 p. c. pour descendre et remonter le trépan,
19 p. c. pour faire le curage du puits,
10 1/2 p. c. pour les pertes résultant des temps d'arrêt, ou bien occasionnées par des accidents.

L'avancement moyen par journée de travail a été de $0^m,81$.

Cette moyenne aurait été plus considérable, si le sondage avait marché convenablement dès l'origine; mais, pendant la première période des opérations, nous avons été arrêté fréquemment par l'imperfection des appareils moteurs, et nous avons même été obligé de suspendre le travail pendant quatre semaines, ainsi que l'indique le tableau, pour modifier les divers organes des machines. Le travail a marché ensuite très-régulièrement jusqu'à la fin.

Il est à remarquer que la cuiller de draguage avait une capacité d'environ 1 1/2 mètre cube; or elle a été descendue 292 fois, ce qui représenterait un volume extrait de 438 mètres cubes de bouillie, tandis que le volume des roches détachées par le forage n'est que d'environ 150 mètres cubes. On peut en conclure que, en moyenne, la cuiller ne rapportait guère que 40 p. 100 de sa capacité, du moins en volume réel de débris de roches.

Grand puits. — Le second tableau (B) indique que l'élargissement du puits préparatoire a été fait dans les conditions suivantes : Grand puits.

42 p. c. de la durée totale du travail ont été employés au forage proprement dit,
11 p. c. pour la descente et la remonte du *grand trépan*,
21 p. c. pour le curage du puits,
8 p. c. pour le travail au petit *trépan*.

18 p. 100 ont été absorbés par les pertes de temps, occasionnées soit par les changements d'outils, soit par la réparation des accidents.

L'avancement moyen par journée de travail a été de $0^m,32$.

En comparant ces résultats avec ceux obtenus dans le percement du puits préparatoire, on remarquera :

1° Que le temps proportionnel absorbé par le curage du puits est sensiblement le même des deux côtés ;

2° Que, d'une part, le travail au petit *trépan*, rendu nécessaire par le tassement des déblais dans le puits préparatoire, et, d'autre part, les retards nombreux occasionnés par les changements plus fréquents des outils pour faire fonctionner tantôt le grand *trépan*, tantôt le petit *trépan* ou la cuiller, ont réduit de 56 à 42 p. 100 le nombre d'heures employées au travail utile du forage ;

3° Que la perte de temps occasionnée par tous ces changements, y compris les accidents, a augmenté de 10 1/2 à 18 p. 100 ;

4° Et enfin que le travail au petit *trépan* a lui-même absorbé 8 p. 100 de la durée des opérations.

C'est par suite de ces résultats que nous avons insisté précédemment sur l'avantage qu'il y aurait à faire marcher toujours, simultanément, le percement du puits préparatoire et l'élargissement au grand diamètre ; et afin que ce travail puisse se faire avec toute facilité dans les manœuvres, nous nous proposons, à l'avenir, d'allonger notre tour de sondage, d'une couple de

mètres, dans le sens opposé à la baraque du *trépan;* on pourra, de cette manière, placer du côté de la cuiller un second chariot pour porter le petit outil, lorsqu'on doit manœuvrer avec le grand. Les trois chariots portant, l'un la cuiller, l'autre le petit *trépan*, et enfin, le troisième, le grand *trépan*, seraient donc toujours suspendus sur le chemin de fer de service, de façon qu'on puisse faire glisser au centre l'outil qui doit fonctionner.

Un examen attentif du plan des bâtiments de sondage permettra de saisir la portée de ces diverses observations.

Résultat général. En résumé, le forage du puits de Saint-Vaast, jusqu'à la profondeur de 98 mètres, au diamètre de $4^m,25$ et jusqu'à 135 mètres, au diamètre de $1^m,37$, a duré 12 1/2 mois, dont deux mois de chômage. Si l'on tient compte séparément des 34 ou 35 derniers mètres du puits préparatoire, inutiles pour la partie du grand puits qui est achevée, et forés uniquement en vue des travaux ultérieurs, il reste 8 1/2 mois de travail effectif pour 68 mètres de forage, soit un peu plus de $7^m,40$ par mois, petit et grand puits réunis.

Certes, ce résultat est déjà satisfaisant, si l'on tient compte de la dureté excessive de la plupart des roches qu'on a dû traverser à Saint-Vaast. Mais il est certain qu'avec une installation bien organisée dès le commencement du travail, et si l'on modifiait la marche des opérations ainsi que nous l'avons indiqué, on parviendrait encore à augmenter sensiblement l'effet utile des travaux de sondage.

La dépense en main-d'œuvre et frais généraux, pendant la durée des travaux du puits n° 3, a été en moyenne de 2,318 fr. par mois; la consommation en charbon, huiles, graisses, fers, aciers, etc., pour le service des machines, pour la réparation des outils et pour les di-

vers usages, s'est élevée à 1.952 francs : le prix de revient du forage de 1 mètre de puits peut donc, en moyenne, s'estimer ainsi :

Main-d'œuvre.	313 fr.
Consommation.	261
Total.	574

Ce prix de revient ne comprend pas l'amortissement de l'outillage, dont il serait juste cependant de faire supporter une part à chaque entreprise de ce genre. Nous aurons l'occasion de donner des détails sur le coût de cet outillage, en traitant, dans le dernier chapitre de ce mémoire, de l'économie résultant de l'application du procédé Kind dans le passage des niveaux.

CHAPITRE III.

ÉTABLISSEMENTS DES CUVELAGES EN FONTE.

Détails sur les opérations du puits de Saint-Vaast.

Il résulte, de la description faite précédemment, que le puits exécuté par le procédé Kind a ses parois complétement libres, c'est-à-dire que tous les niveaux d'eau que l'on a traversés sont en communication les uns avec les autres, et que ce puits ne peut être rendu accessible que lorsqu'on a renfermé les niveaux derrière l'enveloppe imperméable appelée cuvelage.

L'établissement du revêtement étanche est l'opération la plus importante de notre travail, et c'est celle dont la réussite a toujours été mise en doute par la plupart des ingénieurs.

Pour atteindre le but indiqué, nous descendons dans le puits une colonne métallique (cuvelage en fonte), portant à sa base une boîte à mousse qui se ferme dès

que la colonne arrive à fond, de manière à intercepter le passage de l'eau.

La colonne en fonte a un diamètre moindre que celui du forage; il reste donc entre les parois de ce dernier et la surface extérieure du cuvelage, un espace annulaire, dans lequel on fait un bétonnage soigné, sur toute la hauteur du revêtement, et c'est cette dernière opération qui achève de rendre le cuvelage complétement étanche.

Nous allons successivement décrire la composition du cuvelage, la préparation des pièces, la descente, c'est-à-dire la mise en place du revêtement, le bétonnage et enfin les travaux accessoires de consolidation, tels qu'ils ont été faits à notre avaleresse de Saint-Vaast.

Composition du cuvelage.

Le cuvelage du puits de Saint-Vaast a $3^m,85$ de diamètre extérieur et $3^m,63$ de diamètre intérieur. Sa hauteur est de $67^m,50$. Il est composé de 45 tronçons annulaires de $1^m,50$, portant des collets d'assemblage qui permettent de les boulonner les uns sur les autres, de manière à former une colonne cylindrique ayant toute la hauteur de la partie du puits à cuveler. Ces tronçons ont été coulés d'une seule pièce, c'est-à-dire qu'ils n'ont pas de joints verticaux; leur surface extérieure est tout à fait lisse; les collets d'assemblage forment saillie à l'intérieur du cuvelage. Il y a, en outre, entre ces collets, à l'intérieur, des nervures horizontales, moins saillantes que les collets, et destinées uniquement à renforcer les pièces.

La hauteur des tronçons n'est limitée que par la difficulté que présenteraient la construction et la manœuvre des pièces. L'épaisseur de la fonte, dans les parties séparées par les collets et les nervures, dépend évidemment du diamètre du cuvelage, et elle peut varier aussi,

pour les différents tronçons, d'après la position qu'ils doivent occuper dans le puits : les tronçons inférieurs doivent être faits plus solides que les tronçons supérieurs, et cela se conçoit (1).

Le cuvelage dont nous nous occupons devait être construit entièrement en fonte ; l'épaisseur des quinze tronçons inférieurs était fixée à $0^m,04$; celle des quinze tronçons suivants devait être de $0^m,035$; et enfin celle des quinze derniers de $0^m,03$. Nous dirons ci-après les motifs pour lesquels nous avons été obligé de remplacer la fonte par la tôle de fer, pour une partie des tronçons supérieurs.

---

(1) Nous nous sommes servi, dans les calculs que nous avons faits pour établir les épaisseurs à donner à nos pièces de cuvelage, de la formule

$$E = \frac{RP}{K}$$

dans laquelle E représente l'épaisseur du cuvelage, R le rayon extérieur, P la pression à supporter, exprimée en kilogrammes par centimètre carré, et K le coefficient de résistance de la fonte soumise à l'écrasement. La plupart des auteurs donnent ce coefficient une valeur de 1.500 à 2.000 kilogrammes par centimètre carré. Nous avons pris pour base le chiffre de 500 kilogrammes, en ajoutant en outre $0^m,02$ à la valeur de E, qui se trouve ainsi représentée par

$$E = 0^m,02 + \frac{RP}{500}.$$

Nous avons appliqué aussi la première formule, au calcul de l'épaisseur des pièces de bois et des cercles en fer employés au cuvelage de Westphalie, en faisant $K = 45$, pour la résistance du bois de chêne soumis à l'écrasement dans le sens perpendiculaire aux fibres du bois ; c'est là le coefficient donné par Tretgold. Il en résulte que, pour un cuvelage de $3^m,50$ de diamètre intérieur, devant supporter une pression de 10 atmosphères, les pièces devraient avoir au moins $0^m,50$ d'épaisseur à la base du revêtement ; les douves du cuvelage de Stiring, qui se trouvait dans ce cas, n'avaient que $0^m,25$.

Les collets d'assemblage sont tournés parallèlement les uns aux autres, ce qui était une condition essentielle pour obtenir, par la réunion de toutes les pièces, une colonne parfaitement verticale. Ces collets présentent une saillie de $0^m,07$, et ils ont conservé après l'opération du tournage une épaisseur *minimum* de $0^m,03$.

Les boulons d'assemblage ont aussi $0^m,03$ de diamètre ; il y en a 45 à chaque joint, ce qui porte leur espacement d'axe en axe à $0^m,25$.

Les joints sont formés par une lamelle de plomb de trois millimètres d'épaisseur, placée de manière à recouvrir la surface annulaire du collet et, de plus, à faire saillie d'un centimètre à l'intérieur et à l'extérieur ; cette saillie a pour but de permettre le rematage du joint, en dedans et en dehors du cuvelage, quand les collets ont été boulonnés avec force. Il est important que les lamelles de plomb employées dans ces conditions, soient d'une épaisseur uniforme et composées, autant que possible, d'un petit nombre de pièces, parce que le joint est plus difficile à faire aux points de jonction de ces pièces.

Nous avons eu l'occasion de constater, lors de la descente de notre cuvelage, que les joints ainsi faits tenaient parfaitement l'eau.

Afin de garantir le revêtement métallique contre l'oxydation, on a recouvert tous les tronçons, à l'intérieur et à l'extérieur, d'une couche de minium. Bien que la dépense résultant de cette opération ne soit pas énorme, c'est peut-être là un surcroît de précaution dont on pourrait se dispenser, du moins quant à l'extérieur ; car cette couche de minium disparaît presque entièrement, par le frottement des cuillers, lorsqu'on fait le bétonnage. D'ailleurs le cuvelage ne devant pas être mouillé si le bétonnage a bien réussi, l'oxydation ne devrait guère

se produire en dehors; en dedans, il sera toujours facile, à toute époque, de mettre une peinture sur le cuvelage, si on le juge nécessaire. Au surplus, l'application d'une couche de goudron coûterait moins cher que la peinture au minium.

Les pièces du cuvelage de Saint-Vaast, composé ainsi que nous venons de le dire, présentent des dimensions assez considérables; les tronçons inférieurs en fonte pèsent, en moyenne, 6.000 kil. chacun, soit 4.000 kil. par mètre de hauteur.

Les premiers constructeurs à qui nous nous sommes adressé pour la fabrication de ces pièces, ne crurent pas pouvoir réussir un pareil travail, et ils nous donnèrent l'avis de former des tronçons cylindriques par la réunion de segments, qui seraient juxtaposés et boulonnés après avoir été rabotés avec soin. Ce nouveau mode de construction eût présenté beaucoup d'inconvénients et plus de difficultés que celui que nous avons adopté; car s'il est vrai que l'on eût donné à chaque tronçon une plus grande hauteur, il faut bien reconnaître aussi que leur exécution eût exigé un ajustement extrêmement précis, et qu'en tournant les collets horizontaux isolément sur chaque segment, il eût été impossible, pour ainsi dire, d'obtenir des joints étanches. Bien d'autres difficultés se fussent présentées encore par l'application des tronçons formés de segments boulonnés, et notamment il eût été peu facile de faire l'essai des pièces, avant de les mettre en usage, tandis que cette opération est très-simple pour les tronçons cylindriques d'une seule pièce.

C'est M. Denis Detombay, fondeur à Châtelineau, qui a osé entreprendre l'exécution de nos tronçons, alors que beaucoup de démarches infructueuses avaient été faites déjà auprès d'autres industriels.

Le prix de la livraison fut fixé, par contrat, à 25f, 75 par 100 kil., y compris le tournage des collets, le forage des trous de boulons et le transport des pièces à pied d'œuvre.

Les premiers essais de M. Detombay ne furent pas couronnés d'un plein succès; il parvint néanmoins, après avoir fait quelques tronçons, à réussir complétement la coulée de tous les autres (1). Cependant, la perte de temps occasionnée par les premières tentatives, avait mis notre constructeur dans l'impossibilité de livrer toutes les pièces en fonte, dans le délai assigné par notre convention; le puits de Saint-Vaast était prêt, et il importait de placer immédiatement le cuvelage, afin d'éviter que, par un chômage trop prolongé, des éboulements ne survinssent dans ce puits, dont les parois, comme on sait, n'étaient pourvues d'aucun moyen de soutenement provisoire. C'est alors, qu'après avoir tenté inutilement de faire reprendre une partie de la commande de M. Detombay par d'autres établissements de fonderie, nous avons pris le parti de faire exécuter, la partie supérieure de notre cuvelage, en tôle de fer.

Les tronçons en fer ont été construits par la société de Monceau-sur-Sambre, au prix de 48f les 100 kil.

Ces pièces sont formées d'un cylindre en tôle de 1m,50 de hauteur et de 3m,85 de diamètre extérieur,

(1) Depuis l'époque où l'on a exécuté ces tronçons de cuvelage (1855), la construction des grandes pièces annulaires en fonte est devenue une chose abordable par tous les fondeurs. On a fait notamment chez MM. Cambier frères, à la Louvière, en 1857, des tubes analogues à ceux de notre cuvelage, pour la construction de piles de pont destinées à un chemin de fer espagnol; et en 1858, MM. Delebeque et Compe, à Baume, ont fait des tronçons en fonte de 4m,50 de diamètre et de 1 mètre de hauteur pour le charbonnage de la Louvière à Saint-Vaast. Ce sont aussi MM. Delebeque et Compe qui ont fait, en 1860, notre cuvelage du puits Sainte-Marie de Péronnes.

renforcé par trois cercles en fonte ayant la forme d'une équerre; deux de ces cercles sont rivés avec soin, en haut et en bas, pour former les collets d'assemblage, tandis que le troisième est placé au milieu de la hauteur du cylindre, pour servir de renfort; ce dernier n'est rivé que sur quelques points de la circonférence. La fig. 56, pl. III, fait voir la coupe de deux de ces tronçons, qui se trouvent à la partie supérieure du cuvelage.

Chaque cylindre est formé par douze tôles juxtaposées, de $1^m,50$ de hauteur sur 1 mètre de largeur dans le sens du cintre; elles sont réunies les unes aux autres par un double rang de rivets, au moyen de petites lattes verticales, c'est-à-dire sans *racoutelage*, ce qui permet d'obtenir plus aisément une forme tout à fait ronde, et ce qui rend l'assemblage avec les cercles plus parfait.

On a employé vingt-huit tronçons en tôle, répartis en quatre séries : ceux de la série inférieure ont 17 1/2 millimètres d'épaisseur, ceux de la seconde 15, ceux de la troisième 12 1/2, et ceux de la quatrième 10 millimètres. Les cercles de consolidation de la première et de la seconde séries ont une section de 68 centimètres quarrés et pèsent chacun 590 kil.; ceux de la troisième et de la quatrième séries n'ont que 54 centimètres quarrés; ils pèsent 460 kil.

Certes, les cuvelages en tôle construits comme nous venons de l'indiquer, présentent une grande résistance à l'écrasement, et si on leur applique la formule, on trouvera qu'ils sont dans de bonnes conditions. Les pièces en tôle ont, d'ailleurs, l'avantage de la légèreté; car on ne pourrait arriver à couler les pièces de fonte aussi minces qu'elles pourraient l'être théoriquement pour les parties supérieures du revêtement; elles présentent aussi l'avantage de ne pas être sujettes à la

rupture, soit par des chocs, soit tout autrement; si les cercles du renfort venaient à se casser, on pourrait aisément les remplacer, sans que le cuvelage manquât de rester étanche. Mais l'oxydation de la tôle serait peut-être plus rapide que celle de la fonte; les cuvelages en fer coûtent plus que les autres, et l'épaisseur à donner aux tôles pour pouvoir les cintrer et les river aisément, a des limites que l'on ne peut guère dépasser. Si l'on appliquait la tôle à de grandes profondeurs, il faudrait donc suppléer à cette épaisseur, par un plus grand nombre de cercles de renfort.

Poids du cuvelage.

En résumé, notre cuvelage de Saint-Vaast se composait de :

			kilogr.		kilogr.
18	tronçons	en fonte, pesant	112.418,	soit par mètre	4.164
7	*Id.*	en fer fonte	33.880,	*Id.*	3.227
7	*Id.*	*Id.*	30.044,	*Id.*	2.861
7	*Id.*	*Id.*	25.053,	*Id.*	2.386
7	*Id.*	*Id.*	22.575,	*Id.*	2.150
46	tronçons, y compris la boîte à mousse.		224.970,	moyenne par mètre. . . .	3.246

Les pièces accessoires, boulons d'assemblage, torches en plomb, etc., etc., pesaient environ 21.000 kil.; le poids total du cuvelage mis en place, était donc de 245.000 kil. En moyenne, chaque mètre de hauteur du cuvelage a coûté :

				francs.
Pour les pièces en fonte.				1.078
Id.	en fer et fonte,	1re	série. .	1.520
Id.	*Id.*	2e	*Id.* . .	1.336
Id.	*Id.*	3e	*Id.* . .	1.150
Id.	*Id.*	4e	*Id.* . .	1.029
Moyenne générale.				1.181 (1)

(1) Il y aurait 30 p. 100 d'économie à réaliser sur ce prix, si l'on faisait aujourd'hui un cuvelage entièrement en fonte, tel que le projet en avait été conçu.

Boîte à mousse. L'appendice que nous appelons *boîte à mousse* et qui se trouve adapté à la partie inférieure de la colonne métallique, est formé d'un cylindre en fonte d'un diamètre plus petit que celui du cuvelage, ce qui lui permet de s'emboîter dans le tronçon qui se trouve à la base.

Ce cylindre a $1^m,80$ de hauteur; il est armé à sa partie inférieure d'un sabot en bois, destiné à porter, d'une part, sur le fond du puits, et à former, d'autre part, une des parois horizontales de la boîte à mousse. Le rebord extérieur en fonte qui termine le dernier tronçon du cuvelage, forme l'autre paroi horizontale de cette boîte. Le sabot est fait de seize pièces de bois de $0^m,40$ de hauteur sur $0^m,20$ de largeur, placées en polygone régulier; ces pièces sont assujetties au cylindre au moyen de boulons à tête perdue. L'appareil est suspendu par des tringles en fer, qui l'empêchent de sortir du cuvelage, mais qui lui permettent de s'en rapprocher lorsqu'une pression est exercée sur le sabot.

La *fig.* 55, Pl. III, indique mieux qu'on ne pourrait l'expliquer le mouvement du cylindre de la boîte à mousse dans le cuvelage.

Entre le sabot, le rebord extérieur du dernier tronçon du cuvelage et les parois du cylindre, on bourre avec soin un matelas de mousse, que l'on maintient en place pendant la descente du cuvelage, au moyen d'un filet de pêcheur, serré sur tout le pourtour.

L'effet de la boîte à mousse se comprendra aisément : le cuvelage, portant cet appareil à sa partie inférieure, est descendu dans le puits, par le moyen que nous indiquerons ci-après; dès qu'il arrive en bas de l'avaleresse, le sabot s'arrête sur la roche dure qui forme le fond, tandis que le cuvelage, continuant à descendre, vient presser de tout son poids sur la boîte. La mousse

est alors fortement comprimée contre les parois du terrain, et forme ainsi un bouchon qui intercepte toute communication entre le terrain aquifère et le fond du puits.

Indépendamment de la charge du cuvelage, on pourrait employer, au besoin, des moyens de compression pour augmenter cet effet ; il serait facile, par exemple, de charger la colonne à sa partie supérieure, ou bien d'exercer un effort de traction sur le sabot, au moyen de tiges préalablement fixées à cette partie de la boîte.

Le poids de notre cuvelage de Saint-Vaast étant suffisant, nous n'avons pas cru devoir recourir ici à l'emploi de moyens accessoires de compression ; la boîte à mousse, qui avait $1^{m},10$ de hauteur libre au moment de la descente, a été resserrée des 5/6 par la charge, de telle façon que le bouchon de mousse était réduit à une hauteur de 20 centimètres environ.

La surface annulaire de la boîte a $0^{m},20$ de largeur ; sa section totale est donc de $2^{mq},50$. Si l'on répartit sur cette surface toute la charge du cuvelage, on trouve que la compression exercée sur la mousse est de 10 kil. par centimètre quarré.

On remarquera (*fig.* 55) que le sabot et le rebord en fonte du cuvelage portent, vers l'extérieur de la boîte à mousse, des segments en tôle mince ($0^{m},005$) qui, rabattus, formeraient un disque annulaire. Ces segments sont relevés, au moment où l'on descend le cuvelage, de manière à former un angle à l'horizon de 30 à 35 degrés, et à déterminer ainsi une surface conique, qui tend à pousser la mousse contre le terrain lorsque viennent les premiers moments de la compression. Si, pour atteindre ce but, on avait coupé en biseau le fond du cuvelage et le sabot, il en

fût résulté un grand inconvénient : c'est que la compression de la mousse eût été arrêtée dès que les biseaux se seraient rencontrés. Il n'en est pas de même avec les segments en tôle mince, qui, placés comme nous l'indiquons, peuvent laisser ainsi toute limite au rapprochement des deux parois de la boîte à mousse ; en effet, dès que la compression devient assez forte, ces segments se rabattent sur le plan horizontal : et les surfaces inclinées disparaissent.

Quant au filet qui serre le matelas de mousse, il se déchire quand la boîte se ferme, et il n'a plus dès lors aucune utilité.

Nous ferons encore une observation sur les précautions à prendre pour appliquer la boîte à mousse : c'est que, pour éviter le démantèlement de cette boîte pendant la descente du cuvelage, on doit avoir soin de creuser le dernier mètre du puits, sur un diamètre un peu plus petit que le dessus, afin que la boîte ne puisse frotter contre le terrain que lorsqu'elle est près d'arriver à fond. Cette précaution a pour but aussi d'éviter les éboulements qui pourraient se produire tout le long des parois de l'excavation par le frottement de l'appareil ; enfin elle contribue puissamment au succès de la boîte à mousse, car le matelas serrant déjà contre les parois verticales de l'excavation au moment où elle s'y introduit, il y a beaucoup de chance pour qu'après la fermeture de la boîte, la mousse soit comprimée fortement contre ces parois ; c'est ce qui doit assurer la réussite de l'opération.

Préparation des pièces de cuvelage : tournage des collets ; forage des trous.

Le tournage des collets des tronçons de cuvelage est une opération fort simple, mais dont l'exécution nous a occasionné beaucoup de contrariétés et des dépenses notables, en frais de premier établissement. Il était de la plus grande importance, comme nous l'avons déjà

dit, que les deux collets de chaque pièce fussent tournés parallèlement, pour avoir la colonne tout à fait verticale. Les grands tours, que l'on ne rencontre que dans deux ou trois ateliers de construction de notre pays, et qui sont destinés à tourner soit des roues de locomotives, soit des cylindres à vapeur de grandes dimensions, n'étaient même pas convenables pour faire l'opération du tournage, ainsi que nous voulions l'exécuter. D'ailleurs, en admettant que, moyennant quelques frais de location, on nous eût permis de nous servir de l'un de ces tours, nous aurions eu à supporter la dépense à faire pour transporter nos énormes pièces de cuvelage, depuis la fonderie jusqu'aux ateliers, et ensuite de ces derniers jusqu'à Saint-Vaast; nous avons donc trouvé qu'il y aurait avantage à faire construire un tour spécial, et à l'installer dans notre établissement.

Cet outil, exécuté dans les ateliers de MM. Parmentier frères, à la Louvière, a été attelé sur une petite machine de quatre chevaux, qui nous servait à pomper l'eau pour l'alimentation de notre chaudière à vapeur; au moyen d'un embrayage, on pouvait à volonté faire mouvoir cet appareil ou en arrêter la marche.

Voici comment se faisait le travail du tournage : la pièce du cuvelage était roulée sur le terrain, et amenée auprès du tour, où on la fixait sur un chariot affleurant au niveau du sol; le chariot, roulant sur un chemin de fer, introduisait la pièce à tourner sur un mandrin, où elle était calée avec soin, puis soumise à l'opération du tournage.

Toutes les manœuvres que ce travail nécessitait avaient lieu avec la plus grande facilité; on tournait au moins une pièce chaque jour, même sans travailler la nuit.

Une autre opération qui a exigé aussi beaucoup de manœuvres, est celle du forage des trous des collets. On avait laissé des broches à la coulée, pour l'un des collets de chaque pièce; mais les trous de l'autre collet devaient être forés ultérieurement. Il fallut donc présenter l'un sur l'autre tous les tronçons du cuvelage, pour tracer les trous, parce qu'il était impossible de compter sur une division exacte à tracer à la main, attendu que la moindre différence eût pu donner lieu à des embarras et à des retards continuels, lorsqu'on aurait placé les pièces en colonne.

Pour faire ce travail, nous nous sommes servi avec avantage du chemin de fer placé à 9 mètres au-dessus du sol, et qui avait été monté, on se le rappelle, pour le travail du sondage. Au moyen de deux grues placées sur des chariots mobiles sur le chemin de fer, les pièces furent soulevées par quatre hommes, et présentées successivement les unes sur les autres.

Le travail était ordonné de la manière suivante : la pièce tournée pendant le jour était présentée dans la soirée pour marquer les trous, puis elle était forée la nuit. Ce dernier travail était fait à l'entreprise, au prix de 8 fr. pour les 45 trous de 3 centimètres de diamètre, soit $0^{fr},18$ par trou de boulon.

En somme, il suffisait donc de 24 heures de travail pour amener la pièce au tour, la tourner, la ramener ensuite auprès du puits pour la présenter à la pièce à laquelle elle devait être assemblée, et enfin forer les trous des collets.

Certes, lorsqu'on se trouvera dans l'occasion d'exécuter encore des travaux analogues à ceux de Saint-Vaast, il faudra chercher, autant que possible, à faire préparer tous les ajustements des pièces de cuvelage dans les ateliers de fonderie, de telle sorte qu'on n'ait

plus qu'à les mettre en place quand elles arrivent à l'établissement. Mais, pour un premier travail, outre la nécessité dans laquelle on se trouvait de suivre une autre marche, il était important de pouvoir surveiller soi-même toutes les opérations accessoires. Nous devons dire, d'ailleurs, qu'à part la dépense faite pour le tour, dont vraisemblablement on trouvera le réemploi, le tournage des pièces de cuvelage ne nous a pas coûté fort cher : nous estimons qu'en moyenne le prix de revient de cette opération ne dépassait guère $0^{fr},75$ par 100 kilogrammes. Les frais en furent supportés par l'entrepreneur pour les pièces en fonte.

Épreuve des pièces.

Tous les tronçons du cuvelage ont été essayés avant d'être mis en œuvre. La pression à laquelle on a soumis les premières pièces atteignait vingt atmosphères; puis on a réduit successivement jusqu'à dix atmosphères.

Cette opération de l'épreuve des pièces paraissait au premier abord devoir présenter beaucoup de difficultés; on était préoccupé de l'idée de leur faire subir une pression à l'intérieur, ainsi que cela se fait pour les chaudières à vapeur et les tuyaux hydrauliques. Mais, outre que ce moyen ne serait pas facile à mettre en pratique, à cause de la dimension des plateaux de fermeture et de l'effort énorme qu'ils devraient supporter pendant l'opération, l'épreuve ainsi faite ne serait pas concluante, attendu que les pièces de cuvelage doivent résister à l'écrasement et non pas à l'extension. C'est donc une pression extérieure qu'il faut leur faire subir.

Nous employons, dans ce but, un procédé extrêmement simple : on plonge le tronçon à essayer dans une cuve d'un diamètre un peu plus grand que le sien, et l'on injecte de l'eau, avec une pompe foulante, dans l'espace annulaire restant entre les deux pièces.

La cuve d'essai porte, en bas, un collet intérieur, et, en haut, un collet extérieur ; le premier s'assemble avec l'un des collets de la pièce à essayer, l'autre vient affleurer au niveau du second collet de ladite pièce ; un plateau annulaire placé sur ces deux derniers collets ferme l'espace compris entre la cuve et le tronçon de cuvelage. C'est dans cet espace que, après avoir rendu les joints étanches, on injecte l'eau avec la pompe. La cuve d'essai est pressée intérieurement et le tronçon du cuvelage extérieurement.

Nous avons installé notre cuve d'essai au-dessous du chemin de fer de service, dans une excavation d'environ 1^{m},50 de profondeur, de telle sorte que le collet supérieur se présentait au niveau du sol.

Le tronçon à essayer était descendu dans la cuve, au moyen de deux grues placées sur un chariot roulant sur le chemin de fer, et c'est alors que l'on présentait les pièces, les unes sur les autres, pour marquer les trous du boulon, soit avant, soit après l'opération de l'épreuve.

L'assemblage du plateau de la cuve et de la pièce à essayer se faisait, non pas avec des boulons, mais avec des agrafes en fer, ainsi que le fait voir le dessin. C'est qu'en effet il eût été difficile de faire correspondre les trous de boulon de toutes les pièces du cuvelage, et que, d'ailleurs, le nombre des agrafes pouvant être augmenté de manière à les serrer l'une contre l'autre, on avait ainsi plus de facilité pour former des joints étanches. Nous avons toujours employé avec succès, pour atteindre ce but, des torches de chanvre au minium ; les cordes en caoutchouc, que nous avons quelquefois essayées, tenaient moins bien que le chanvre ; ce dernier se laisse plus facilement *brandir*, lorsqu'une fuite se présente en un point quelconque ; tandis que le

joint en caoutchouc, lorsqu'il est mauvais, doit être complétement renouvelé.

La cuve d'essai avait été construite avec soin, et au moyen de tôles de 2 centimètres d'épaisseur ; de plus, elle était renforcée extérieurement par des cercles en fer battu, presque juxtaposés, de 4 centimètres d'épaisseur ; ces cercles étaient serrés fortement contre la cuve. Malgré tant de précautions, nous avons eu infiniment de difficulté à contenir l'eau dans cette cuve pendant les opérations ; car, dès que la pression atteignait certaines limites, un grand nombre de rivures faisaient défaut, et il fallait les remater presque chaque fois. Nous conseillons de faire usage, à l'avenir, de cuves en fonte, que l'on pourrait, au besoin, former de deux ou trois anneaux assemblés extérieurement, ce qui rendrait la pièce plus facile à transporter.

Le résultat des épreuves que nous avons fait subir à tous nos tronçons de cuvelage, ont démontré combien cette opération préalable était nécessaire ; plusieurs pièces laissèrent apercevoir des défauts, et durent être rebutées ou bien conservées pour la partie supérieure du revêtement.

Les pièces de cuvelage en tôle ont dû être essayées, presque toutes, deux et même trois fois, malgré tout le soin que l'on avait pris de bien remater les joints et les rivets.

Peinture des pièces.

En sortant de la cuve d'essai, les pièces étaient rangées dans la cour de l'établissement, d'après leur numéro d'ordre, de manière à présenter une longue file, d'où elles étaient prises, une à une, pour être descendues dans le puits. Au fur et à mesure qu'elles arrivaient à la file, elles étaient peintes au minium, intérieurement. Cette peinture avait le temps de sécher avant la descente de la pièce.

Descente du cuvelage.

Le moyen de mettre en place la grande colonne métallique destinée à former le cuvelage, était un obstacle à l'emploi de la fonte pour le revêtement des puits forés par le procédé Kind. En effet, bien qu'avec des échafaudages suffisamment solides et des cordages ou des tiges rigides de fortes dimensions et multipliées selon les cas, on puisse parvenir à descendre de fortes charges, il n'en est pas moin vrai que lorsqu'il s'agit de placer à une grande profondeur une colonne de 2 à 300.000 kil., l'emploi des moyens ordinaires peut devenir, sinon impossible, du moins extrêmement coûteux.

Le procédé que nous mettons en usage pour descendre les cuvelages ne présente pas ces inconvénients. Nous plaçons, à la partie inférieure de la colonne, un fond avec tube d'équilibre, qui permet à ladite colonne de déplacer un grand volume d'eau, et de s'alléger ainsi de la plus grande partie de son poids.

Nous allons donner quelques détails sur la construction de cet appareil et sur la manière dont il fonctionne (*fig.* 4, Pl. I, et *fig.* 54, Pl. III).

A l'un des rebords ou collets inférieurs du cuvelage, le troisième, par exemple, afin de laisser les deux premiers tronçons tout à fait libres pour le jeu de la boîte à mousse, se trouve adapté le fond dont il s'agit; il est fait en fonte, et représente une calotte sphérique terminée par un rebord aplati, au moyen duquel on le boulonne sur un plateau annulaire, qui est lui-même assemblé au collet du cuvelage. Le plateau est formé de plusieurs pièces boulonnées entre elles; il a pour but de rendre possible le démontage et l'enlèvement de l'appareil d'équilibre, lorsque toutes les opérations sont terminées, et que le puits est rendu accessible. Le fond porte au milieu une ouverture circulaire sur laquelle

on place une colonne métallique en fonte ou en tôle, de $0^m,30$ à $0^m,40$ de diamètre; c'est là ce que nous appelons la colonne centrale ou tube d'équilibre. On peut former ce tube de tuyaux de pompes ordinaires, ceux que l'on a sous la main. De distance en distance (7 à 8 mètres), on perce la colonne d'équilibre de petits trous de 9 à 10 millimètres de diamètre; ces trous servent à faire entrer l'eau dans le cuvelage au fur et à mesure que celui-ci doit s'enfoncer.

Voyons maintenant ce qui se passe pendant l'opération de la descente du cuvelage : d'abord on fait arriver jusqu'à la tête du niveau, et par les moyens que nous indiquerons ci-après, quelques tronçons assemblés avec le fond et le bout du tube d'équilibre, et on les fait plonger dans l'eau. Le liquide monte dans le tube et tout autour des tronçons; l'intérieur de ces derniers reste vide.

Si on abandonnait alors la partie de cuvelage ainsi descendue, elle s'enfoncerait dans l'eau jusqu'à ce que le poids du liquide déplacé fût égal au poids des pièces, c'est-à-dire que le tout nagerait à la façon d'un bateau. On pourrait ensuite ajouter successivement, à cette première partie du cuvelage, tous les tronçons qui doivent le compléter, en allongeant toujours le tube d'équilibre, de façon à ce que le liquide puisse se maintenir dans ce tube sans entrer dans le cuvelage. Ce dernier s'enfoncerait dans l'eau par son propre poids.

Mais si l'on se bornait à placer ainsi et tronçons et allonges du tube d'équilibre, il arriverait un moment, quand tous les cylindres seraient placés, où le cuvelage ne descendrait plus; il resterait flottant. C'est pour le forcer à descendre jusqu'au fond du puits que l'on in-

troduit de l'eau à l'intérieur par les petits trous que l'on a ménagés dans la colonne d'équilibre. Ces trous, maintenus fermés par des vis, peuvent s'ouvrir et se boucher à volonté, pourvu que l'on ait soin de ne jamais les laisser noyer, c'est-à-dire de fermer ceux d'en bas pour ouvrir plus haut, à mesure que le niveau de l'eau monte dans le cuvelage (1).

L'exposé qui précède fait suffisamment comprendre la théorie de la descente des cuvelages par la *flottaison*.

En pratique, il y aurait de graves inconvénients à suivre rigoureusement la marche que nous avons indiquée; car, en l'abandonnant à lui-même, le cuvelage nagerait et ne serait pas en équilibre stable; le mouvement de flottaison le ferait constamment ballotter; la boîte à mousse frotterait contre les parois du puits et se déformerait sans aucun doute; enfin le cuvelage lui-même, lorsqu'il arriverait à fond, ne viendrait pas s'asseoir de niveau ni juste au milieu du puits, et l'espace annulaire à bétonner deviendrait dès lors tout à fait irrégulier.

Pour éviter tous ces inconvénients et pouvoir rester maître de la marche de l'opération, on tient le cuvelage suspendu, pendant toute la durée de la descente, par des tiges rigides, dont le mouvement est commandé de la surface; on peut ainsi limiter l'immersion de la colonne, et lui conserver en tout temps une charge de 25 à 30.000 kil., ce qui suffit largement pour la faire descendre parfaitement d'aplomb.

Les détails de l'appareil de suspension employé à Saint-Vaast sont indiqués par les *fig.* 4 et 5, Pl. I. La

(1) Cette recommandation n'est pas inutile, ainsi que l'on pourra s'en convaincre en lisant l'extrait du journal des travaux.

charpente sur laquelle il est établi est formée par les deux longues poutres qui ont servi antérieurement à porter le chemin de fer établi à 9 mètres au-dessus du sol. Ces poutres, ainsi que nous l'avons dit au chapitre premier, étaient reliées, par des tirants en fer, avec quatre sommiers en chêne placés en croix sur les murs de la tour de sondage. Pour renforcer encore cette charpente, nous avons placé, au-dessous des pièces du chemin de fer, quatre montants ou supports en sapin de $0^m,45$ d'équarrissage, portant sur un cadre ou semelle placé au niveau du sol. On a monté sur cet échafaudage six tiges de suspension que l'on a assemblées au cuvelage au moyen d'un cercle en fonte fixé au-dessous du collet d'assemblage des tronçons nos 3 et 4; ce collet avait été renforcé spécialement dans ce but.

Le cercle d'attache, composé de six pièces assemblées entre elles, était boulonné lui-même au collet du cuvelage; il était fait de manière à présenter à l'intérieur de ce dernier six saillies ou œillets destinés à recevoir les tiges (voir *fig.* 65 et 66, Pl. III).

Chaque tige de suspension est formée de trois parties distinctes : le bout de tige qui la termine à sa partie inférieure et dont l'extrémité est filetée pour recevoir un écrou d'arrêt, après qu'elle a été introduite dans l'œillet du cercle d'attache (*fig.* 62) ; la vis de rappel, longue de 4 mètres au moins, qui se trouve à son extrémité supérieure et qui est commandée par une roue dentée, mise en mouvement au moyen de manivelles (*fig.* 60 et 61) ; enfin la partie du milieu, qui réunit la vis et le bout inférieur dont il s'agit ci-dessus; elle se compose d'allonges de 4 mètres de longueur et de 4 centimètres d'équarrissage, assemblées les unes aux autres comme des tiges de sondage; ce sont ces allonges que l'on

ajoute successivement à mesure que le cuvelage descend, ainsi que nous allons l'expliquer.

Pour procéder à l'opération de la descente, on a d'abord installé sur la charpente de suspension les six vis avec leurs engrenages et leurs manivelles, puis on a monté la boîte à mousse et les quatre premiers tronçons sur le plancher de travail placé à 3 mètres au-dessous du sol, soit 12 mètres au-dessous du niveau de la charpente. On a mis ensuite le cercle d'attache, et l'on a relié les tiges avec les vis, de manière à suspendre tout l'appareil.

Il était important d'avoir le moins de charge possible à faire porter sur la charpente pour cette première période de l'opération, qui était du reste la plus difficile. Les quatre premiers tronçons étaient nécessaires pour monter le fond et le tube d'équilibre, ainsi que le cercle et les tiges de suspension. Le poids total de ces diverses pièces était d'environ 30.000 kil.

On se représentera aisément la position de l'appareil au moment de commencer l'opération de la descente; nous allons en suivre le mouvement.

Les vis de rappel sont remontées et dépassent le plancher de la charpente de toute leur hauteur. Deux ouvriers sont attelés à chacune des six vis pour marcher à l'unisson sur le commandement du chef-sondeur. On fait mouvoir en même temps toutes les manivelles, et dès lors les six tiges, de même que le cuvelage, descendent uniformément jusqu'à ce que, les vis de rappel ayant parcouru une course de 4 mètres, on commande le mouvement d'arrêt. On suspend alors le cuvelage sur des poutres placées à l'orifice du puits, au moyen de fourches de retenue prenant au-dessous de l'épaulement des tiges, absolument comme s'il s'agissait d'un appareil de sondage; on détache les vis de rap-

pel et on les remonte à vide sur 4 mètres de hauteur; on remet une nouvelle série de tiges de 4 mètres, on rattache les vis de rappel et on retire les fourches de retenue; puis on reprend la descente jusqu'à ce qu'on ait fait une nouvelle étape de 4 mètres.

En répétant la manœuvre que nous venons d'indiquer, et en ajoutant à chaque nouvelle descente une nouvelle série de tiges de 4 mètres, l'appareil arrive à la tête du niveau, là où il commence à nager.

C'est seulement alors que l'on se prépare à placer successivement tous les tronçons du cuvelage.

Pour enfiler sur la colonne un nouveau tronçon, on profite de l'instant où les vis de rappel sont détachées des tiges de suspension et séparées de ces dernières par un espace libre de 4 mètres; on peut alors glisser le tronçon au milieu du puits, sur les poutres de retenue; puis après avoir raccordé les vis et les tiges, on suspend le tronçon à la corde de la *machine-cabestan* au moyen de six petites chaînettes passant dans les trous de boulons d'un des collets. Dès que les fourches et les sommiers de retenue sont retirés, on descend le tronçon jusqu'à ce qu'il vienne se poser sur la colonne à laquelle il doit s'assembler. Il reste alors à faire le joint, c'est-à-dire à placer les boulons, que l'on serre fortement, et à remater à l'intérieur et à l'extérieur de la lamelle de plomb interposée entre les deux collets.

Pour remater le joint à l'intérieur, il est nécessaire de ménager, à peu de distance du niveau de l'eau, une petite galerie faisant le tour du puits, afin que les ouvriers puissent s'y installer pour faire l'opération, au moment où le joint se présente à la hauteur de cette galerie. Cela deviendrait inutile, si le puits préparatoire que l'on fait jusqu'à la tête du niveau était assez large

et qu'il restât un espace suffisant pour se placer entre ces parois et celles du cuvelage; mais quand le niveau est bas, comme cela se présentait à Saint-Vaast (à 35^m), il y a économie à établir la galerie plutôt que de creuser le puits sur un très-grand diamètre.

Lorsque tous les tronçons du cuvelage sont placés et qu'on a descendu la colonne métallique jusqu'à peu de distance du fond, il est bon de procéder au curage du puits avant de toucher; car il peut arriver que de petits éboulements se produisent pendant la descente du cuvelage, et qu'il se dépose sur le fond du puits des débris de roche qui empêchent le sabot de la boîte à mousse de s'asseoir convenablement.

Le curage peut se faire avec facilité par la colonne centrale au moyen d'un instrument à charnières, *fig.* 57 et 58, Pl. III, qui est fait de manière à racler le fond du grand puits, et à faire tomber au centre, dans le petit trou de sonde, tout ce qui pourrait s'y être déposé.

On peut aussi se servir, à cette fin, des instruments *dragueurs* que nous avons décrits précédemment.

Dès que le curage est fait, on reprend l'opération de la descente de la colonne, que l'on continue avec précaution, de manière que le sabot vienne poser doucement sur le fond du puits. La charge du cuvelage augmente lentement, à mesure qu'on le laisse aller et que l'eau s'introduit dans l'intérieur par les trous de la colonne d'équilibre; la boîte à mousse se ferme uniformément sur tout le pourtour; et enfin, lorsque toute la charge presse dessus, elle se serre fortement. Il faut avoir soin, dans ce moment, de ne pas abandonner le cuvelage à lui-même, de crainte qu'il ne se jette de côté dans l'espace libre où il se trouve. C'est pour éviter cet

inconvénient que, à Saint-Vaast, nous avons attendu, pour retirer les tiges de suspension, que le bétonnage fût fait.

On peut d'ailleurs caler le cuvelage à sa partie supérieure en fixant trois ou quatre pièces de bois du diamètre du puits sur le collet du dernier tronçon, ainsi que nous l'avons fait à Péronnes; on parvient également de cette manière à le maintenir vertical, et il n'y a plus, dès lors, aucun inconvénient à retirer les tiges qui peuvent gêner pour la suite du travail.

L'opération du bétonnage consiste à remplir d'un mortier hydraulique l'espace annulaire laissé, entre la surface extérieure du cuvelage et les parois du puits, sur toute la hauteur de ce dernier. *Bétonnage.*

C'est au moyen de petites caisses de forme circulaire, dites cuillers de bétonnage, que l'on descend le béton dans cet espace profond et étroit.

Nous allons décrire la manière dont s'effectue l'opération.

Disons d'abord que la désignation du béton, employée dans cette circonstance, est assez impropre; car la composition du mélange employé pour faire le bétonnage en fait un véritable mortier. Il est formé de chaux hydraulique, de sable quartzeux, de trass et de ciment anglais.

Les trois premiers éléments constituent un mortier hydraulique excellent; l'addition d'une certaine quantité de ciment-médina augmente le degré de durcissement, et paralyse le retrait qui pourrait se produire par la solidification d'un mortier trop calcareux.

Il y a ici deux écueils à éviter : ou le durcissement du mortier peut se faire trop rapidement, auquel cas il ferait prise déjà dans la cuiller qui sert à le des-

cendre, et il ne se lierait pas bien avec le mortier déjà placé ; ou bien le durcissement peut ne pas se faire assez vite, et les couches successives de béton que l'on descendrait derrière le cuvelage formeraient une masse liquide dont les éléments pourraient se séparer par l'action de la pesanteur qui agirait différemment sur chacun d'eux. Cet effet pourrait d'autant plus facilement se produire qu'il faut un temps assez long pour bétonner sur toute la hauteur du puits, et que la descente des cuillers met constamment en mouvement la masse liquide. Le ciment anglais accélère la solidification du béton, tout en laissant la pâte dans un état qui permet aux mélanges successifs de se lier les uns aux autres.

Nous avons fait un grand nombre d'expériences en petit sur les mortiers hydrauliques obtenus en mêlant dans diverses proportions la chaux, le sable, le trass et le ciment. La composition que nous avons reconnue la meilleure et que nous avons adoptée pour le bétonnage de Saint-Vaast était faite comme suit :

Chaux hydraulique de Thiméon. . .	1 partie,
Sable de Carnières.	1
Trass d'Andernach..	1
Ciment anglais médina.	1/2

La chaux employée était éteinte par aspersion, puis tamisée avec un tamis en toile métallique à mailles très-serrées.

Chaque mélange ou pâté était formé d'un demi-hectolitre des trois premiers matériaux et d'un quart d'hectolitre de ciment.

Sur un plancher bien uni et préparé à cette fin à côté du puits, on mêlait d'abord à sec le sable et la chaux,

puis on y ajoutait le trass et ensuite le ciment. Lorsque le tout avait été bien remué de façon à rendre le mélange uniforme, on arrosait doucement en agitant de nouveau toute la masse à grands renforts de bras, jusqu'à ce qu'elle formât une pâte consistante et bien liée.

Le gâteau ainsi préparé était descendu dans un bac, jusqu'à la tête du cuvelage, où se faisait le remplissage des cuillers à bétonner.

Six caisses ou cuillers étaient installées sur le pourtour du puits et fonctionnaient, soit en même temps, soit successivement, de manière à déposer le mortier en six points différents de la circonférence, ce qui suffisait pour remplir uniformément l'espace annulaire. Il y avait pour les six cuillers six treuils à engrenages (n° 1) placés sur le plancher de la charpente, et six autres aux treuils (n° 2) établis à l'orifice du puits. Le service de chaque cuiller de bétonnage était fait par deux treuils, un de chaque catégorie.

La caisse ou cuiller de bétonnage (*fig.* 67 et 68, Pl. III) présente la forme d'un parallélipipède rectangle auquel on aurait fait subir une légère courbure ou cintrage, pour faciliter l'entrée dans l'espace annulaire à bétonner; un piston est emboîté dans cette caisse et peut s'y mouvoir de haut en bas. Ces caisses sont faites de deux tôles minces (3 millimètres d'épaisseur) fixées sur deux montants en bois de 7 à 8 centimètres d'équarrissage, laissant entre eux le vide qui forme la cuiller. Un demi-cercle en fer, en forme d'anse de panier, est assemblé sur les montants et sert à porter, d'une part, le bout taraudé au moyen duquel la cuiller peut se visser à une tige de suspension, et, d'autre part, une douille qui laisse passer la tige du piston.

Les tiges de suspension qui servent à descendre les cuillers sont composées de diverses parties, réunies ensemble comme des tiges de sondage; chaque cuiller est mise en mouvement par un treuil à engrenage (n° 1) placé sur le plancher de la charpente; son piston est vissé sur une autre tige portant sur une glissière et terminée à sa partie supérieure par un œillet, dans lequel on fait passer une corde qui s'enroule sur un treuil (n° 2) placé à l'orifice du puits.

La manœuvre des appareils se fait de la manière suivante : dès que la cuiller arrive sur le plancher de travail, monté à cette fin à la tête du cuvelage, on la pose debout sur ce plancher, de manière à fermer l'orifice inférieur du prisme; on retire le piston de la cuiller et on la remplit de béton avec une palette, en tassant légèrement; puis on remet le piston. L'appareil est alors prêt à fonctionner. On commande le mouvement des deux treuils; la cuiller descend dans l'espace annulaire avec la tige de suspension décrite ci-dessus; la corde attachée au piston descend de même, et lorsque la cuiller arrive à fond, on secoue le piston en imprimant à son treuil un mouvement de va-et-vient qui, répété pendant quelques instants, suffit pour vider la cuiller. On remonte ensuite l'appareil sur le plancher de travail et l'on recommence l'opération.

La glissière placée sur la tige du piston a pour effet de rendre les coups plus violents par le choc que produit, à chaque oscillation, la partie supérieure de cette tige qui vient frapper sur la partie inférieure.

Nous ferons remarquer que la cuiller, en descendant, est obligée d'entraîner avec elle le piston; on prend soin, dans ce but, lorsqu'on replace ce dernier dans la caisse, de fixer à sa tige un petit clou d'arrêt (*a*)

qui ne lui permette plus d'en sortir. Cette précaution est nécessaire pour que la réussite de chaque opération ne puisse pas être compromise par un ralentissement dans la marche du treuil n° 2.

Les tiges de suspension des cuillers n'ont que 2 1/2 centimètres d'équarrissage; néanmoins, il fallait quatre hommes au treuil n° 1 pour le service de chaque cuiller; le treuil du piston (n° 2) ne demandait que deux hommes.

Les cuillers employées d'abord avaient 2 mètres de hauteur, $0^{m},90$ de longueur et $0^{m},11$ de largeur, et pouvaient contenir $0^{m3},140$ de mortier.

La difficulté que ces grandes caisses présentaient à la manœuvre, les a fait remplacer par de plus petites, ayant $1^{m},50$ de hauteur, $0^{m},80$ de longueur et $0^{m},07$ de largeur; la capacité de ces dernières est d'environ 60 litres.

Le poids des grandes cuillers était d'environ 400 kil., et celui des petites de 300 kil., y compris le piston muni de sa tige, de sa glissière et d'une tige de battage de 9 mètres de longueur. Il sera facile de calculer le poids de l'appareil à toute profondeur, en y ajoutant la longueur correspondante des tiges de suspension.

Nous avons dit que les six cuillers placées sur le puits pouvaient manœuvrer toutes ensemble ou bien successivement l'une après l'autre; c'est qu'en effet le service de chaque cuiller exigeant sept ouvriers, six aux treuils et le septième pour remplir la caisse de mortier, il aurait fallu réunir une cinquantaine de manœuvres pour faire marcher tous les appareils, en y comprenant le personnel occupé au tamisage de la chaux et celui qui composait les mélanges et préparait le mortier. C'est à cause de la difficulté de trouver autant d'ouvriers, surtout pour un travail de quelques

semaines, que nous nous sommes borné à faire fonctionner seulement trois appareils en même temps; on prenait successivement trois cuillers équidistantes. Cela ne présentait d'autre inconvénient que de ralentir la marche de l'opération.

Nous ferons une remarque à cette occasion, c'est que, en thèse générale, il est bon de multiplier le plus possible le nombre d'appareils de bétonnage à mettre en activité sur le pourtour du puits, afin que le béton ne soit presque pas mis en mouvement lorsqu'il est déposé, et que l'espace annulaire se remplisse uniformément. Dans le cas où nous nous trouvions, le puits ayant une douzaine de mètres de circonférence, l'espace libre entre deux cuillers ne dépassait guère un mètre.

En vue d'accélérer la marche du bétonnage ou de réaliser quelques économies, l'idée pourrait venir de jeter le béton dans l'excavation qu'il s'agit de remplir, en se plaçant à la tête du cuvelage; ce sera là, pensons-nous, un moyen de faire manquer le but que l'on se propose en bétonnant, à savoir de former derrière le cuvelage une masse compacte et serrée, formant en quelque sorte un second revêtement imperméable. En effet, si l'on se contentait de jeter le béton au lieu de le descendre doucement à la cuiller, il pourrait se former, sur la hauteur de l'espace annulaire, des engorgements qui laisseraient au-dessous d'eux des vides plus ou moins grands, et que l'on ne parviendrait jamais à remplir qu'imparfaitement, même en battant avec des pilons. Il est probable aussi que le mortier se décomposerait en grande partie avant d'arriver au fond de l'excavation, c'est à-dire que la chaux, le sable et le trass se sépareraient par ordre de densité, pour ne plus former qu'une masse inerte et sans résistance.

Nous ne conseillons pas non plus de chercher à remplacer, par l'action d'une machine à vapeur, le service des manœuvres employées à faire le bétonnage; car il faut modifier les mouvements à tout instant, ce qu'il est difficile d'obtenir à la machine. Au surplus, la dépense en main-d'œuvre occasionnée par le bétonnage n'est pas extrêmement importante, ainsi qu'on aura l'occasion de le voir ci-après.

Ancrage ou consolidation du cuvelage.

Afin d'augmenter encore, s'il était possible, la stabilité du cuvelage en fonte que nous avons établi à Saint-Vaast, et surtout pour le mettre à même de supporter, sans se démanteler, les tassements de terrain qui pourraient se produire, soit par l'approfondissement du puits au-dessous de la partie cuvelée, soit par toute autre circonstance, nous avons armé le revêtement, à sa partie supérieure, d'un ancrage très-solide, dont nous allons donner la description. La *fig.* 56, Pl. III, représente cette construction.

D'une part, entre les collets d'assemblage des deux derniers tronçons à la tête du cuvelage, et, d'autre part, entre les collets de cette avant-dernière pièce et de la suivante, on a boulonné deux plateaux circulaires en fonte, formant une saillie de $0^{m},50$ à l'extérieur du revêtement.

Le premier plateau a été placé d'abord, après qu'on lui eut préparé une bonne assise en maçonnerie, ce qui nécessitait naturellement un élargissement du puits en cet endroit; on a monté ensuite une maçonnerie pleine, sur ce premier plateau, jusqu'au niveau où devait se placer le second; on a enfin placé ce dernier, puis on a rempli toute l'excavation au-dessus de ce second plateau, et l'on a resserré la masse contre le terrain. Pour rendre les deux plateaux solidaires, et par conséquent l'ancrage plus solide, on les a réunis par huit boulons ou

tirants de $0^m,04$ de diamètre, répartis sur le pourtour du puits; ces boulons sont noyés dans la maçonnerie qui sépare les deux plateaux.

Il est bon de faire remarquer que, pour l'exécution de ce travail d'ancrage, il fallait que le dessus du cuvelage se trouvât hors de l'eau; c'est qu'en effet les deux derniers tronçons (3 mètres de hauteur) sont au-dessus de la ligne ordinaire du niveau, et l'on prend généralement cette précaution dans l'établissement des cuvelages, pour éviter que l'eau ne passe au-dessus du revêtement dans les moments de crues, c'est-à-dire quand les niveaux montent.

On comprendra aisément, d'après la description qui précède, l'utilité du travail de consolidation : le cuvelage, étant suspendu par son extrémité supérieure, se trouve dans l'impossibilité de subir aucun mouvement sans ébranler la masse du terrain sur lequel les plateaux sont assis, ce qui paraît difficile. Il arriverait plutôt, selon nous, que les plateaux et les collets d'assemblage céderaient à la force qui tendrait à faire descendre le cuvelage; mais l'effort qui nécessiterait la rupture de ces pièces serait très-considérable, ainsi qu'il sera facile de s'en assurer par le calcul des résistances.

L'ancrage nous paraît utile, surtout lorsqu'on établit un premier cuvelage pour repousser les niveaux supérieurs, et que l'on prévoit devoir rencontrer plus tard des terrains peu consistants, des sables boulants, par exemple, ou des argiles sableuses plus ou moins friables; c'est là le cas qui se présentait à notre puits de Saint-Vaast.

Démontage des appareils.

Enfin, il est une dernière opération dont nous avons à nous occuper, c'est celle du démontage des appareils

ayant servi à la descente du cuvelage, savoir : les tiges de suspension, le fond et le tube d'équilibre.

Les tiges de suspension peuvent être retirées sans qu'il soit besoin de pomper l'eau qui se trouve dans le cuvelage : en effet, si l'on se reporte à la description que nous avons donnée précédemment, on remarquera que ces tiges ne sont retenues au cercle de support que par des écrous vissés à leurs extrémités. Or ces écrous sont filetés en sens inverse des vis d'assemblage des tiges, de telle sorte que si l'on fait tourner ces dernières, en se plaçant à l'orifice du puits, on parvient à dévisser les écrous et à rendre les tiges tout à fait libres; on les retire ensuite en les démontant pièce par pièce, comme s'il s'agissait d'une tige de sondage.

Nous n'avons éprouvé dans nos travaux aucune difficulté pour exécuter cette manœuvre.

Quant au fond et au tube d'équilibre, on ne peut les retirer qu'après que les dernières opérations destinées à rendre le cuvelage étanche sont terminées, alors que l'on peut, sans inconvénient, enlever l'eau qui se trouve dans le puits.

Le fond est formé de deux parties, ainsi que nous l'avons dit : la calotte sphérique, d'un diamètre plus petit que l'intérieur du cuvelage, et le rebord plat, qui est boulonné, d'une part, à la calotte, et, d'autre part, à l'un des collets du cuvelage. La partie plate est formée de six pièces assemblées entre elles, et il suffit de les déboulonner pour rendre libre tout l'appareil. Si l'on n'enlève qu'une pièce à la fois, on peut sans inconvénient remettre de nouveaux boulons au joint du cuvelage, sans que celui-ci puisse être dérangé.

C'est ici le moment de rencontrer une objection que

l'on a faite, contre l'emploi de notre appareil d'équilibre pour descendre le cuvelage. On a prétendu que, dans le cas de non-réussite du travail, il serait difficile, si pas impossible, de retirer le fond et le tube. Cette objection est spécieuse; car si, après avoir exécuté un puits en niveau par nos procédés, on n'était pas parvenu à le rendre étanche, il serait nécessaire de parfaire le travail, en ayant recours à une machine d'exhaure pour battre les eaux, et aller poser une ou plusieurs trousses à picoter au-dessous de la base du cuvelage; or, puisqu'il faut alors enlever par la force les eaux qui se trouvent dans le puits et le rendre ainsi accessible, il n'y a rien qui puisse s'opposer à ce qu'on démonte l'appareil d'équilibre. Il est vrai que, dans le cas spécial qui s'est présenté à notre puits de Saint-Vaast, le fond d'équilibre a mis obstacle à la marche du travail; mais c'est qu'il y avait là impossibilité d'avoir recours aux procédés ordinaires pour continuer l'avaleresse, à cause de la présence des terrains ébouleux qui ensablaient les pompes dès qu'on voulait épuiser l'eau; ces sables provenaient d'un trou de sonde que l'on avait malheureusement foré au fond du puits. D'ailleurs, même dans cette circonstance, l'obstacle n'a pas été invincible; car nous sommes parvenu à briser au trépan le pourtour de la calotte, c'est-à-dire le plateau qui la réunit au cuvelage, et celle-ci, devenue libre, pourra être retirée tout entière; les morceaux de fonte provenant du bris des pièces seront aussi très-facilement extraits au moyen du grapin.

CHAPITRE IV.

PARTICULARITÉS RELATIVES AU TRAVAIL DU PUITS SAINTE-MARIE DE PÉRONNES.

Les diverses considérations générales que nous avons présentées sur le procédé suivi pour l'établissement du puits de Saint-Vaast, peuvent s'appliquer au travail du puits d'aérage que nous avons exécuté à Péronnes.

Nous nous bornerons à consigner ici quelques détails spéciaux sur ce dernier travail.

Le terrain houiller se trouve en cet endroit à la profondeur de 107 mètres, et la tête de niveau à 43 mètres. A la base des marnes et silex, qui constituent la plus grande partie des *morts-terrains*, il se trouve 4 à 5 mètres d'argile compacte avec rognons, que les mineurs de la localité désignent sous le nom de *tourtia*, mais qui est bien plutôt, selon nous, ce que l'on appelle au Borinage les *fortes-toises*.

C'est dans ce terrain, qui ne renferme pas d'eau et qui est imperméable, que nous avons placé la base de notre cuvelage en fonte, à la profondeur de 105^{m},20, c'est-à-dire à une couple de mètres du schiste houiller.

Nous nous sommes réservé ainsi le moyen d'établir au besoin une ou deux trousses picotées au-dessous de la base du cuvelage, ce qu'il pourrait être dangereux de faire dans le terrain houiller proprement dit, où l'on rencontre souvent des fissures qui compromettraient des travaux de ce genre.

Le puits d'aérage de Sainte-Marie a été creusé au diamètre du 2^{m},32. On a foré d'abord un trou de sonde de 1^{m},37; puis on a élargi à la dimension voulue. *Forage du puits.*

Contrairement à ce qui s'est fait à Saint-Vaast et partout ailleurs où M. Kind avait établi des sondages à grande section, on a procédé à l'élargissement du puits préparatoire, chaque fois que l'on avait avancé ce dernier d'une dizaine de mètres, c'est-à-dire que le grand forage suivait toujours le petit, sauf à laisser à ce dernier une avance minimum de 5 mètres pour le guidonnage des outils. Cette manière de procéder présente des avantages notables au point de vue économique, ainsi que nous l'avons exposé précédemment.

Nous avons aussi simplifié de beaucoup la construction de la tour de sondage, qui avait coûté fort cher dans les travaux antérieurs. Cette dépense était ici d'autant plus inutile que, dans le cas spécial d'un puits d'aérage, une tour en maçonnerie ne pourrait pas être utilisée comme bâtiment d'extraction.

La baraque de sondage de Péronnes se composait uniquement de quatre montants en bois, de 9 mètres de hauteur, réunis à leur partie supérieure par un encadrement sur lequel était placée la poulie de bellefleur. Deux poutres de 12 mètres de longueur et de 0m,45 d'équarrissage avaient été montées à 3 mètres du sol, sur des piliers en bois boulonnés aux montants de la baraque, et c'est sur ces deux pièces qu'on avait placé le chemin de fer de service. Mais pour que cette construction peu élevée permît de faire les manœuvres, nous avions creusé le puits jusqu'à 10 mètres du sol au diamètre de 4 mètres, et l'on avait placé à cette profondeur le plancher de travail des ouvriers du sondage. De plus, au moyen d'une excavation latérale faite dans le terrain jusqu'à 5 mètres du sol, on avait regagné l'espace nécessaire pour faire rouler les outils, le trépan, la cuiller, etc., ainsi que cela doit se faire souvent dans le cours du travail.

Quant aux machines à vapeur, nous les avions installées sur les fondations d'un ancien bâtiment, qui se trouvait à côté de l'emplacement du sondage.

Les outils dont on a fait usage pour le forage du puits de Péronnes sont, pour la plus grande partie, les mêmes que ceux employés à Saint-Vaast : le petit *trépan* de 1^{m},37, la *cuiller* de draguage, la *glissière*, les *tiges* en bois, la *vis de rappel*, le *balancier*, le *cylindre-batteur* et même la *machine-cabestan*, tels que nous les avons décrits dans le premier chapitre de ce mémoire.

L'outil élargisseur de 2^{m},32 de diamètre, était un petit *trépan*, dont on avait allongé la lame. Il était armé de guides en bois placés dans le sens vertical et qui, pendant le travail du forage, pénétraient de 0^{m},70 à 0^{m},75 dans le puits préparatoire, de manière à diriger la marche de l'outil, ce qui était utile pour que le puits fût percé d'aplomb. Ces guides verticaux étaient tout simplement quatre longues pièces de sapin boulonnées aux guides horizontales et à la la lame du trépan, et placées de manière à toucher en quatre points de la circonférence du petit puits.

Pendant la première période du travail, nous avions fait usage du grand *trépan* sans ces guides en bois, et nous avons remarqué, après un certain laps de temps, que le puits avait dévié de la verticale d'environ 0^{m},40 sur une hauteur de 10 à 12 mètres. Cette déviation avait, sans doute, pour cause la différence de dureté que présentaient les roches sur les divers points des parois du puits; la nature des terrains siliceux (rabots) est en effet fort hétérogène : des blocs de silex doivent être taillés d'un côté du puits, tandis que de l'autre, on se trouve souvent dans des marnes assez tendres.

L'outil élargisseur portait aussi une lame supérieure,

avec dents repasseuses, et deux guides horizontaux placés en croix comme celles que l'on adapte au petit *trépan;* la seule différence que cela présentait ici, c'est que l'un de ces guides en croix était mobile, de manière à pouvoir se placer parallèlement à l'autre, lorsqu'on devait faire sortir l'outil et le passer au plancher de manœuvre. Pour le maintenir en croix pendant le travail du sondage, on avait fixé à ces guides une verge à crochets, qui les rendait immobiles l'une par rapport à l'autre.

Nous croyons inutile de reproduire encore le dessin du grand *trépan* employé à Péronnes, cet outil étant en tout semblable à ceux que nous avons décrits pour le travail de Saint-Vaast; on se figurera d'ailleurs, d'après ce que nous avons dit, la manière dont les guides verticaux étaient fixés à cet outil, et c'est là la seule particularité qu'il présentait.

Le puits d'aérage de Sainte-Marie a été établi sur une avaleresse que l'ancienne Société de Péronnes avait abandonnée à la tête du niveau, soit à 43 mètres de profondeur.

Le forage a été commencé à partir de ce point; le puits préparatoire de $1^{m},37$, a été poussé jusqu'à $108^{m},20$ de profondeur; l'élargissement s'est arrêté à $105^{m},20$.

Le travail du forage, mis en activité le 27 juin 1859, suivit une marche régulière jusqu'au 30 août suivant. On s'aperçut alors que le puits avait dévié, ainsi que nous l'avons dit ci-dessus, et il fallut en redresser les parois, ce qui occasionna une perte de temps de trois ou quatre semaines. Le travail reprit ensuite son cours ordinaire, et tout le forage était presque terminé lorsque, le 29 janvier 1860, un accident très-grave nous força d'arrêter : la partie supérieure de la maçonnerie

du puits s'était écroulée, et les outils de forage étaient tombés au fond de l'avaleresse, où ils avaient été brisés et recouverts de 8 à 9 mètres de décombres.

Nous ferons connaître, dans l'extrait de notre journal des travaux, les détails relatifs à cet accident, qui était, du reste, tout à fait indépendant du procédé suivi pour le travail, et nous indiquerons les moyens de sauvetage employés à cette occasion.

Quoi qu'il en soit, après trois mois d'interruption, on put reprendre le forage, qui fut terminé le 4 juin de cette année.

Le tableau suivant fait connaître l'effet utile obtenu pendant les diverses périodes de l'opération.

PÉRIODES DU TRAVAIL.	SONDAGE AU GRAND TRÉPAN.			SONDAGE AU PETIT TRÉPAN.			CURAGE.		Temps absorbé par les retards ou les accidents ordinaires.	AVANCEMENT		OBSERVATIONS.
	Nombre de descentes de l'outil.	Temps employé à descendre et remonter l'outil.	Temps employé à sonder.	Nombre de descentes de l'outil.	Temps employé à descendre et remonter l'outil.	Temps employé à sonder.	Nombre de descentes de la cuiller.	Temps employé.		du puits préparatoire de 1m,87.	du puits définitif.	
		heures.	heures.		heures.	heures.		heures.	heures.	m. c.	m. c.	
Du 29 juin 1859 au 29 août, 53 jours de travail, 9 jours de chômage.	30	26	242	109	91	525	159	196	72	34,70	16,70	Pendant les dix premiers jours on n'a pas travaillé la nuit.
Du 30 août au 17 septembre, 16 jours 1/2 de travail, 2 j. 1/2 de chômage.	»	»	»	35	35	257	33	66	38	7	»	Le grand puits ayant dévié, on continue à sonder le puits préparatoire en attendant que les nouveaux guides du trépan soient prêts.
Du 18 septembre au 11 octobre, 4 jours 1/2 de sondage, 16 jours pour redresser le puits, 3 jours 1/2 de chômage.	7 32*	14 64*	85 208*	»	»	»	»	»	41	»	3,80	Les chiffres marqués d'un astérisque indiquent le travail fait pour redresser les parois du puits.
Du 12 octobre au 27 janv. 1860, 91 jours de travail, 19 jours de chômage.	29	29	278	108 22*	108 22*	783 59*	244	508	397	21,50	20,30	Les chiffres marqués d'un astérisque indiquent le sondage au petit trépan, pour broyer les blocs de silex tombés dans le puits préparatoire.
Du 30 janvier au 1er mai.	92 jours d'interruption des travaux de sondage.											Période de travail employée à réparer le grand éboulement de la maçonnerie et à retirer les outils tombés dans le puits
Du 2 mai au 4 juin 29 jours de travail, 5 jours de chômage.	25	38	233	»	»	»	123	243	158	»	16,40	
Total 11 mois, 210 jours de travail, 39 jours de chômage, et 92 jours d'interruption du sondage.	123	171	1126	274	266	1024	559	1013	706	63,20	60,20	

Le cuvelage du puits d'aérage de Péronnes est entièrement en fonte ; il est formé de trente et un tronçons cylindriques de 2 mètres, formant ensemble une colonne de 62 mètres de hauteur, non compris la boîte à mousse. Ces cylindres sont construits comme ceux employés à Saint-Vaast, c'est-à-dire coulés d'une seule pièce, avec des collets à l'intérieur pour servir à les assembler. Entre les collets de chaque pièce, il y a aussi à l'intérieur de petites nervures horizontales destinées à les renforcer. Cuvelage.

Les tronçons ont 2 mètres de diamètre extérieurement, et $1^m,80$ à l'intérieur des collets d'assemblage.

Les collets ont une épaisseur *minimum* de 3 centimètres et font saillie de 7 centimètres à l'intérieur du cuvelage ; ils sont percés de vingt-cinq trous de boulons, de 5 centimètres de diamètre, sur le pourtour de la circonférence, ce qui porte à 22 centimètres l'espace des trous de centre à centre.

Les joints ont été faits, comme à Saint-Vaast, de lamelles de plomb de 3 millimètres d'épaisseur et de 11 centimètres de largeur ; on les serrait avec force au moyen de boulons, puis on rematait le joint à l'intérieur et à l'extérieur du cuvelage. On prenait soin de mettre une couche de minium au-dessous et au-dessus de cette lamelle de plomb, pour boucher les petites défectuosités qui auraient pu exister dans les collets.

Les pièces de cuvelage ont été tournées aussi sur un mandrin libre des deux côtés, ce qui permettait de raboter les deux collets en même temps et dans des plans parallèles, chose tout à fait indispensable, ainsi que nous l'avons déjà dit précédemment.

Quant à l'épaisseur des parois, on a divisé la colonne

en trois parties : la première, pour la base du cuvelage, formée de dix pièces dont l'épaisseur est de 30 millimètres ; la seconde, de dix autres pièces de 27 millimètres, et la troisième, de 11 pièces de 25 millimètres.

Le poids de chaque pièce était, en moyenne, pour la première série de 3.150 kil., pour la seconde série de 2.821 kil., et pour la troisième de 2.200 kil. ; ces dernières n'avaient pas tout à fait les dimensions voulues ; elles ont été coulées un peu plus faibles qu'on ne l'avait demandé.

Toutes ces pièces ont été éprouvées à une pression extérieure de 18 atmosphères pour les plus fortes, et de 8 atmosphères pour les plus faibles ; aucune d'elles n'a laissé apercevoir la moindre défectuosité. L'une des pièces supérieures ayant été cassée par le déchargement, nous l'avons même fait essayer tout spécialement à une pression supérieure, et il n'a été constaté aucun suintement par la fissure de 12 à 15 centimètres de longueur qu'elle portait près d'un de ses collets.

L'épreuve se faisait dans une cuve en fonte, dont les parois avaient 4 centimètres d'épaisseur, et qui a toujours supporté intérieurement les pressions les plus fortes sans subir aucune détérioration.

Nous renverrons pour les détails relatifs à l'appareil d'essai, à ce que nous avons dit en parlant des travaux de Saint-Vaast.

Le poids total du cuvelage de Péronnes, y compris la boîte à mousse, les boulons d'assemblage, etc., est d'environ 90.000 kil. Il a été construit dans les ateliers de MM. Delebèque et compagnie à Baume, pour le prix de 21 francs les 100 kil., à charge par eux de tourner les collets et de transporter les pièces à pied d'œuvre. On fabriquait ordinairement trois pièces chaque semaine.

Boîte à mousse.

Le tronçon inférieur de cuvelage a été coulé avec un rebord extérieur en fonte faisant saillie de $0^m,16$; ce rebord est l'une des parois horizontales de la boîte à mousse. Un cylindre en fonte, de 2 mètres de hauteur et de $1^m,90$ de diamètre extérieur, forme la paroi verticale de la boîte; l'épaisseur de ce cylindre est de 3 centimètres; il n'a pas de collets, mais seulement quatre petites oreilles destinées à le suspendre au moyen de tiges. La paroi horizontale inférieure de ladite boîte est formée par un encadrement en bois de chêne (sabot) composé de douze pièces placées en polygone régulier, et fixées à la base du cylindre en fonte, chacune au moyen de deux boulons à tête perdue. Ces pièces ont $0^m,30$ de hauteur et $0^m,16$ de largeur. Enfin la paroi verticale extérieure de la boîte était représentée par un filet de pêcheur, à mailles très-serrées, et bien tendu.

Le cylindre était entré dans le premier tronçon du cuvelage de $0^m,20$ environ, lorsque la boîte à mousse fut suspendue; cette dernière avait donc $1^m,50$ de hauteur et $0^m,16$ de largeur annulaire, ce qui représentait une capacité de 1 1/2 mètre cube.

On a bourré dans cet espace 45 hectolitres de mousse, pour former le matelas, c'est-à-dire que cette dernière était déjà comprimée assez fortement et réduite au tiers de son volume primitif, avant la descente dans l'eau.

La boîte à mousse passait facilement sans frotter le long des parois du puits; on avait pris la précaution que nous avons signalée ailleurs, de rétrécir la partie inférieure du forage, afin que la mousse touchât légèrement dans l'espace où la boîte devait entrer.

La mousse en se serrant par la compression du cuvelage n'a conservé que le cinquième de sa hauteur pri-

mitive, soit 0m,30 ; elle est donc réduite au quinzième de son volume.

Au moment de toucher le fond avec le cuvelage, un fait important s'est produit et qui permit de bien augurer de l'effet de la boîte à mousse : dès que cette dernière fut à peu près fermée par la descente du cuvelage, la communication des niveaux avec la colonne d'équilibre fut subitement interceptée, et il fallut recourir à un moyen auxiliaire pour continuer à remplir le cuvelage qui était encore vide sur une hauteur de 15 mètres.

Descente du cuvelage.

Le fond d'équilibre employé pour descendre le cuvelage de Péronnes n'était composé que de deux parties, boulonnées ensemble et pouvant se démonter avec facilité ; cette pièce était en fonte et avait la forme d'une calotte sphérique, avec rebord horizontal extérieur pour l'assembler aux collets du cuvelage.

La colonne centrale a été formée de tuyaux de pompes en tôle, de 8 mètres de hauteur et de 0m,40 de diamètre.

Pour descendre le cuvelage, on a placé sur les semelles de la baraque de sondage, quatre poutres en sapin de 0m,40 d'équarrissage, et l'on a établi, sur ces pièces de bois, quatre des tiges de suspension avec vis de rappel, dont nous avons donné la description précédemment. Dès que cette charpente fut installée, on se mit en mesure de monter, sur le plancher de travail, qui se trouvait dans le puits à 10 mètres du sol, les quatre premiers tronçons du cuvelage ; on plaça aussi le cylindre de la boîte à mousse dans le premier tronçon, le fond d'équilibre immédiatement au-dessous du second joint, et le cercle de suspension, à la tête du troisième tronçon. Le tout arrangé de cette manière, on accrocha les tiges de suspension au cercle, et l'on saisit la partie

de cuvelage ainsi assemblée, pour la soulever et ouvrir la boîte à mousse. Ensuite, quand le matelas de celle-ci fut arrangé, on enleva le plancher de travail et l'on put commencer à descendre l'appareil.

La première période de l'opération de la descente, qui est, comme on sait, la plus difficile, consiste à amener le cuvelage à la tête du niveau de façon à le faire porter sur l'eau. De même qu'à Saint-Vaast, elle s'est faite ici sans accident.

Le travail a été continué ensuite, en ajoutant successivement les nouveaux tronçons, et en laissant descendre doucement le cuvelage.

Au moyen des trous à vis ménagés dans la colonne d'équilibre, on laissait entrer l'eau dans le cuvelage, chaque fois que cela devenait nécessaire, mais toujours de telle façon que les quatre tiges de suspension ne fussent chargées que d'un poids de 10 à 15,000 kil., ce qui était utile pour maintenir le cuvelage d'aplomb.

L'opération a été terminée sans la moindre difficulté et assez vite; car on placait généralement deux tronçons tous les jours.

Le bétonnage du puits de Péronnes s'est fait encore de la même manière qu'à Saint-Vaast; le même outillage a été employé et la composition des mortiers a été faite avec les mêmes éléments. Bétonnage.

Trois cuillers de bétonnage ont été installées sur la circonférence du puits, ce qui suffisait pour remplir uniformément l'espace annulaire sur un diamètre de $1^m,80$. Ces cuillers ont fonctionné simultanément, pendant la plus grande partie du travail; elles étaient desservies par six treuils placés à l'orifice du puits : chaque cuiller en avait deux, l'un pour le service de la caisse proprement dite, et l'autre pour la manœuvre

de la glissière. (Voir, pour les détails de l'opération, le chap. III.)

Le bétonnage ne marchait pas la nuit. Le dimanche, afin de ne pas laisser reposer le béton pendant trente-six heures, du samedi soir au lundi matin, on travaillait une partie de la matinée.

Pendant les premiers jours, alors qu'on devait descendre le mortier jusqu'au fond de l'espace annulaire, c'est-à-dire à 105 mètres de hauteur, on ne mettait en œuvre, sur douze heures de travail, que vingt-deux cuillers de béton, ce qui représentait douze mélanges composés chacun d'un demi-hectolitre de chaux, un demi de sable, un demi de trass et un quart de ciment anglais. La quantité de mortier descendue chaque jour augmenta rapidement, à mesure que la profondeur devint moins grande, et, dans les derniers temps, on employait jusqu'à trente-deux mélanges sur douze heures.

Voici le relevé des matériaux employés pour faire le bétonnage du puits de Péronnes :

	mèt. cub.
Chaux de Thiméon.	25
Sables de Carnières.	25
Trass d'Andernacht.	20
Ciment anglais.	9
Total.	89

Nous estimons que la capacité de l'espace annulaire ne dépassait pas 75 à 76 mètres cubes; il y aurait donc une partie notable de ces matériaux employée à remplir les fissures du terrain.

Observations. En résumé, il résulte des détails que nous avons donnés dans ce paragraphe, que le travail relatif à la pose du cuvelage du puits de Péronnes a marché beaucoup plus vite que celui de Saint-Vaast, et cela parce que nous avions eu soin de faire préparer toutes les pièces et de les essayer, pendant que l'on était occupé

au forage du puits. Nous avons ainsi obtenu une économie notable, comme on pourra le constater ci-après, en comparant les dépenses relatives occasionnées par les travaux des deux puits.

Pour donner une idée de la rapidité d'exécution, disons notamment que, du 4 au 25 juin, soit en dix-huit jours, on a démonté tous les appareils de sondage, placé la charpente nécessaire à la descente du cuvelage, et descendu les quatre premiers tronçons, avec la boîte à mousse, jusqu'à la tête du niveau. On a ajouté successivement les autres tronçons; dès le 18 juillet, tout le cuvelage était placé.

Le travail du bétonnage, commencé le 26 juillet, était complétement achevé le 21 août suivant.

Nous n'avons procédé à l'épuisement des eaux que le 15 octobre, parce qu'il nous paraissait utile de laisser durcir le béton. Cette précaution n'est peut-être pas indispensable, et l'on pourrait même, comptant sur l'effet de la boîte à mousse, battre les eaux dès que l'on a fait quelques mètres de bétonnage. Nous n'oserions pas cependant conseiller cette manière de procéder; car il se pourrait que la grande pression qui se produit à la base du cuvelage, permît à l'eau de se frayer un passage par des fissures mal remplies, et dès lors des ouvertures plus larges finiraient par se former, et l'on aurait peut être beaucoup de peine à y porter remède.

En somme il vaut mieux, croyons-nous, sacrifier quelques semaines pour que le béton fasse prise et présente un certain degré de consistance.

Au surplus, nous n'avons pas perdu de temps à cette occasion, dans notre travail de Péronnes; car nous avons foré, au fond du puits, un trou de sonde de $0^m,30$ pour atteindre au niveau de 118 mètres, et nous apprêter ainsi à nous mettre en communication avec le

puits d'exhaure de Sainte-Marie, pour la suite du travail du puits d'aérage.

L'épuisement de l'eau a duré dix jours ; nous avons voulu faire cette opération avec lenteur, afin de charger le cuvelage sans secousse.

L'enlèvement de l'appareil d'équilibre (faux fond et tube) n'a demandé que deux jours.

Enfin, le 27 octobre, tout était terminé, et l'on pouvait constater que le travail avait réussi d'une manière complète ; le cuvelage était étanche.

Le percement du *stock* qui séparait le puits d'aérage de la galerie de communication établie à la profondeur de 118 mètres, s'est fait avec une grande facilité, en l'absence de toute venue d'eau. Nous avons maçonné solidement le puits à partir de 118 mètres ; et, arrivé à 2m.40 de la base du cuvelage en fonte, nous avons placé deux fortes trousses en bois, que l'on a picotées avec soin. On pourrait, si cela devenait nécessaire, poser une petite passe de cuvelage sur ces trousses picotées, afin de les relier avec le revêtement en fonte. Pour le moment, nous nous sommes borné à y placer des montants en bois, serrés les uns contre les autres et portant sous la semelle de la boîte à mousse. (Voir *fig.* 72, Pl. III.)

CHAPITRE V.

ÉCONOMIE DU PROCÉDÉ KIND.

A. — Frais d'installation.

Coût des travaux de Saint-Vaast (puits n° 3).

1° Tour de sondage proprement dite :	fr.	fr.
Main-d'œuvre.	4.394,08	8.785,33
Matériaux employés : briques, chaux, sable, bois, etc.	3.607,85	
Dépenses diverses.	783,40	
A reporter.		8.785,33

Report.	8.788,33
2° Siége à Molettes.	1.854,16
3° Planchers, échafaudages, chemin de fer de service, spécialement affectés au travail du sondage.	1.881,86
4° Bâtiment provisoire pour l'installation des machines de sondage et fondations de ces machines.	3.230,80
5° Baraque en bois pour recevoir les trépans. . . .	5.066,58
6° Construction d'une forge de maréchal.	878,35
7° Construction du bâtiment pour l'installation du tour destiné à tourner les pièces de cuvelage. . .	814,18
8° Hangar pour magasins, bureaux, écurie, etc. . .	2.443,55
Total.	24.454.81

B. — **Percement du puits.**

1° Établissement du puits principal jusqu'à la tête du niveau :

	fr.	fr.
Main-d'œuvre.	2.412,20	5.283,95
Matériaux employés : briques, chaux, sable, bois, etc.	2.871,75	

2° Travaux accessoires :

Puits alimentaire pour la chaudière à vapeur, creusé à la profondeur de 40 mètres. .	960f,81	1.396,36
Puits du contre-poids, creusé à 20 mètres	435 ,55	

3° Forage du puits préparatoire de 1m,37 de diamètre, depuis la tête du niveau jusqu'à 100 mètres (1) :

		fr.	
Main-d'œuvre, appointements et salaires.		6.213,92	11.836,43
Consommation :	fr.		
Charbon 1.913 hect.	2.869,90	5.622,51	
Huiles et graisses.	502,91		
Bois.	426,48		
Acier, fers et métaux. . . .	917,70		
Matériaux divers.	905,52		

4° Élargissement du puits au diamètre de 4m,25 jusqu'à la profondeur de 98 mètres :

A reporter. 18.516,74

(1) Les travaux exécutés en janvier et février 1855, pour l'approfondissement du puits préparatoire depuis 100 mètres jusqu'à 135, ont coûté : en main-d'œuve 3.971f,91 ; en consommation, 3.136f,48 : total, 7.108f,39 ; ils n'ont pas été compris dans les dépenses ci-dessus, non plus que les 13.586f,72, employés en mars, avril mai et juin de la même année, pour faire, au fond du puits, un sondage de reconnaissance jusqu'à 195 mètres de profondeur.

Report.			18.516,74
Main-d'œuvre, appointements et salaires.		fr. 13.487,94	24.862,95
Consommation :			
Charbon, 3.540 hect. . . .	fr. 5,309,48	11.375,01	
Huiles et graisses.	985,83		
Bois.	856,60		
Acier, fer et métaux. . . .	2.106,45		
Cordes.	1.516,50		
Matériaux divers.	600,15		
4° Pertes, pour machines et appareils mis hors d'usage pendant le cours du travail.			7.855,90
Total.			51.235,59

C. — **Cuvelage.**

1° Coût du revêtement :		
a. 18 tronçons en fonte y compris le cylindre de la boîte à mousse, le plateau extérieur adapté à la base du premier tronçon et le cercle de renfort du troisième collet, 112.418 kilog..	fr. 28.944,64	fr. 92.462,75
b. 28 tronçons en tôle renforcés par des cercles en fonte : 111.552 kilog..	52.607,44	
c. 1.980 boulons d'assemblage : 3.500 kilog..	2.800,00	
d. 45 torches en plomb pour joints : 2.928 kilog..	2.225,28	
e. Boîte à mousse, sabot, segments en tôle, filet, mousse.	730,72	
f. Plateaux d'ancrage : 5.694 kilog.	1.603,03	
g. Fond d'équilibre, cercle et oreilles de suspension (mis hors d'usage) : 7.289 kilog.	2.076,13	
h. Peinture de tous les tronçons (au minimum).	1.475,51	
2° Bétonnage :		
Ciment.	fr. 7.835.52	11.336,84
Trass.	2.349,50	
Chaux..	692,55	
Sable.	459,27	
A reporter.		103.799,59

Report.		103.799,59
3° Main-d'œuvre (appointements et salaires) :		
Préparation des pièces	3.937,94	14.204,85
Descente du cuvelage	8.805,51	
Bétonnage	4.546,76	
Consolidation	1.914,64	
4° Consommations diverses pendant la durée de ces différents travaux :		
Bois pour la charpente de suspension et divers	4.166,80	9.642,45
Charbon	1.877,40	
Acier, fer et métaux	2.083,15	
Huiles et graisses	954,11	
Cordage	397,75	
Divers	163,24	
Total		127.646,89

D. — Machines et outils employés à Saint-Vaast.

Machine proprement dite.

	fr.
1° Une machine à vapeur rotative pour l'extraction des déblais, de la force de 16 chevaux, avec un système d'engrenages doubles (machine-cabestan)	5.905,15
2° Une machine alimentaire avec pompe à eau froide et pompe à eau chaude	4.652,00
3° Une machine dite cylindre-batteur avec tous ses tuyaux à vapeur	3.048,00
4° Un générateur à vapeur, avec ses garnitures	2.368,94
Total	15.974.09

Outils de sondage.

	fr.
1° Un petit trépan en fer pour forage, de $1^m,37$ de diamètre, pesant 1.476 kilog.	2.603,00
2° Un grand trépan en fer avec lame en acier fondu, pour élargir au diamètre de $4^m,25$, pesant 6.880 kilog.	12.335,50
3° Une cuiller de draguage, pesant 558 kilog.	667,50
4° Un dragueur, pesant 1.627 kilog., un engin en bois pour suspendre cet outil	1.699,50
A reporter	17.305,50

Report.		17.305,50
5° 120 mètres de tiges de sondage en bois de sapin avec ferrements.	fr. 605,25	3.621,50
50 mètres de tiges en fer..	241,65	
Une vis de rappel.	128,75	
Un tourne-sonde.	76,25	
Un balancier en bois avec ferrements et chaîne d'attache.	1.029,10	
Tirants de contre-coup avec pièces élastiques.	1.540,30	
6° Deux crochets de salut.	fr. 100	920,00
Un grapin.	500	
Deux fanchères.	320	
7° 4 fourches pour recevoir.	131	371,00
8 crochets de suspension.	150	
1 grande clef pour devisser la grosse douille.	45	
2 clefs à devisser les tiges.	45	
8° Trois trains de wagons pour recevoir les outils.		651,60
9° 56 dents de rechange pour les trépans..		672,00
10° 2 grues en fer.	258f	443,00
2 petits treuils en bois pour les guides suspendus.	60	
1 poulie de molette..	125	
11° Câble de la machine et cordages divers.		1.200,00
12° Ustensiles divers pour la forge et la charpenterie.		1.500,00
Total.		26.684,40

Outils employés pour le cuvelage.

1° Un grand tour pour tourner les collets.		fr. 11.586,86
2° Une cuve d'essai en tôle pour l'épreuve des pièces		3.000,00
3° 600 mètres de tiges en fer pour suspendre le cuvelage, environ 7,200 kilog.	5.400f	8.498,00
6 vis de relevage, 1.174 kilog.	2.348	
6 petits appareils cabestans avec roues dentées.	750	
4° 400 mètres de tiges de bétonnage, pesant 3.426 kilog.	2.570f	2.870,00
6 cuillers de bétonnage.	300	
Total.		25.954,86
Total général.		68.613.35

Il faut nécessairement appliquer à titre d'amortissement, aux dépenses directes faites pour le puits de Saint-Vaast, une partie du capital outillage.

En portant de ce chef, 25 pour 100 de la valeur des machines et outils, nous croyons exagérer cette quote-part.

Il en résulterait que le coût du puits de Saint-Vaast pourrait s'établir comme suit :

	fr.
A. — Frais d'installation.	24.454,81
B. — Percement du puits.	51.235,59
C. — Cuvelage.	127.646,89
D. — Amortissement du matériel. . .	17.000,00
Total.	220.337,29

Les difficultés que l'on rencontre toujours dans une première entreprise ont influé défavorablement sur le coût de notre puits de Saint-Vaast. Il y aurait, sans aucun doute, une économie importante à réaliser sur les dépenses ci-dessus indiquées, si l'on recommençait un travail analogue. Un cuvelage entièrement en fonte, tel qu'il devait être exécuté, coûterait 25 à 30.000 fr. de moins que celui que nous avons établi; la marche régulière des opérations permettrait aussi de réduire sensiblement les dépenses du forage.

(Puits d'aérage de Sainte-Marie.)

Coût des travaux de Péronnes.

A. — Frais d'installation.

Comprenant :

1° L'élargissement d'un ancien puits (qui était creusé jusqu'à la tête du niveau) au diamètre de 4 mètres, jusqu'à 10 mètres de profondeur;

2° L'établissement d'une cave latérale pour recevoir le trépan ;

3° La construction d'un petit bâtiment pour les machines de sondage, ainsi que le montage desdites machines;

4° L'établissement d'une baraque de sondage en bois.		fr.
Main-d'œuvre (appointements et salaires).		3.559.18
Matériaux employés :	fr.	
Briques, chaux, sable.	588,25	
Bois	3,957,68	5.039,64
Objets divers.	493,71	
Frais d'appropriation des machines et outils. . .		1.492,25
Total.		10.091,07

B. — **Forage du puits.**

		fr.
Main-d'œuvre (appointements et salaires).		12.173,74
Consommation :	fr.	
4.652 hectolitres de charbon.	4.325,25	
Huiles et graisses.	545,48	
Bois.	458.30	6.407,66
Acier, fer et métaux	474,94	
Objets divers.	603,69	
Total. . . . . (1)		18.581,40

C. — **Cuvelage.**

1° Coût du revêtement :

32 tronçons en fonte y compris le cylindre de la boîte à mousse, pesant ensemble 86.682 kilog.	18.476f,06	
750 boulons d'assemblage, pesant 1.020 kil.	612,00	fr. 20.100,66
31 torches en plomb pour joints. .	546,40	
Boîte à mousse.	466,20	
2° Bétonnage :	fr.	
Ciment.	1.536,00	
Trass	879,40	3.178,55
Chaux.	405,00	
Sable.	358,15	
3° Dépenses diverses :		
A reporter.		23.279,21

(1) Le grand accident occasionné par l'éboulement de la maçonnerie du puits, figure dans cette dépense pour une somme de 4.772f,77.

Report.			23.279,21
Main-d'œuvre, préparation et descente du cuvelage . .	2.398f,60	3.914,63	6.506,14
Bétonnage.	1.516,03		
Consommation :			
Bois.	353,75	2.591,61	
Charbon..	970,60		
Acier, fer et métaux. .	120,92		
Huiles et graisses	112,16		
Cordages.	588,60		
Divers.	445,58		
Total.			29 785,45

D. — **Matériel de sondage.**

Une partie des machines et outils employés à Saint-Vaast ont servi, comme on le sait, pour le puits d'aérage de Péronnes. Le grand trépan de 2m,32 est le seul outil spécial employé à ce travail; une cuve d'essai a été construite aussi pour éprouver les tronçons de 2 mètres de diamètre. En portant en dépenses, pour ledit puits d'aérage, une somme de 6.000 francs, à titre d'amortissement du matériel, on sera certainement au-dessus de la perte réelle à subir du chef de ce travail.

En somme, le coût du puits de Péronnes peut donc se résumer comme suit :

	fr.
A. — Frais d'installation.	10.091,07
B. — Forage du puits.	18.581,40
C. — Cuvelage.	29.785,45
D. — Amortissement du matériel. . . .	6.000,00
Total.	64.457.92

La question principale, celle qui a tout spécialement attiré notre attention, lorsque pour la première fois nous avons étudié le procédé Kind, c'est la grande économie qui devait résulter de son application à l'établissement *Conclusion.*

des puits dans les terrains aquifères ou autrement dits les *niveaux*.

Sous ce rapport le nouveau procédé a réalisé toutes nos prévisions : économie de temps, économie d'argent et économie des travailleurs, si l'on peut qualifier ainsi l'absence de fatigues dangereuses de la part des ouvriers livrés à ces travaux.

Les détails que nous avons donnés dans notre rapport nous dispensent d'insister longuement à cet égard; on pourra se rendre compte des faits et comparer nos travaux avec ceux que l'on a exécutés, dans des circonstances analogues, par les moyens ordinaires. Nous citerons notamment, en Belgique, les passages de *niveau* de la Cossette, du Couchant, du Flénu, de Noirchain et de Strépy-Bracquegnies (Puits du Midi), où l'on a rencontré de grandes difficultés par suite de l'abondance des eaux, et où l'on a dépensé des sommes considérables.

En général, on peut dire que les dépenses à faire et le temps à employer pour établir les puits, par les anciens procédés, sont extrêmement variables, et dépendent d'un grand nombre de circonstances, où l'imprévu joue le rôle principal.

Dans notre système de travail, au contraire, les devis peuvent être faits d'avance, assez approximativement; car nous n'avons pas à subir le renchérissement de la main-d'œuvre résultant de la rareté des ouvriers avaleurs et de l'obligation où se trouvent ces ouvriers de travailler dans des conditions extrêmement pénibles; nous n'avons pas non plus à battre les eaux à l'aide de ces puissants moteurs, qui coûtent cher à établir et à entretenir, et qui sont exposés à de fréquents accidents.

On peut affirmer, croyons-nous, que dans la plupart des cas, les dépenses occasionnées par le percement

des puits dans les marnes aquifères du Hainaut, seront réduites, par le procédé Kind, à 30 ou 35 p. 100 de ce qu'elles seraient par les moyens ordinaires ; et nous ne voyons aucun obstacle qui puisse limiter l'emploi de ce nouveau mode d'opération.

Il y a donc lieu d'espérer que les passages de *niveaux* seront maintenant considérés comme des travaux facilement abordables, même à de grandes profondeurs, et que l'on se décidera bientôt à attaquer la plupart de nos concessions charbonnières restées inexplorées jusqu'ici à cause des obstacles que l'on croyait devoir rencontrer dans l'exécution des travaux de premier établissement.

ANNEXE.

FAITS PRINCIPAUX ; ACCIDENTS.

Nous avons consigné, dans cette annexe, les incidents remarquables qu'ont présentés nos travaux de Saint-Vaast et de Péronnes.

On nous pardonnera de donner, à ce sujet, quelques détails, trop minutieux peut-être, mais dont l'utilité sera appréciée par les personnes qui auront à faire de semblables travaux. La lecture de ces notes leur permettra d'éviter une partie des accidents et des retards occasionnés soit par l'inexpérience, soit par des opérations trop précipitées, ou une installation insuffisante.

Extrait du journal des travaux du puits de Saint-Vaast (n° 3).

Le 3 avril 1854, on commence les travaux préparatoires : l'établissement de la tour de sondage, le percement du puits principal au diamètre de 4^m,50 jusqu'à la tête du niveau (à 35 mètres de profondeur), et un petit puits pour l'alimentation des machines.

Le 15 juillet, ces diverses constructions sont achevées, et l'on se prépare à monter les machines et les appareils spéciaux du sondage.

Le 10 septembre tout est installé et l'on peut commencer le sondage.

La durée de ces travaux préparatoires a été de cinq mois; mais on a perdu près de deux mois, soit par suite des retards que les constructeurs ont mis à livrer les pièces des machines, soit à cause des discussions qui ont eu lieu au sein de la société de Péronnes à l'occasion de l'examen du projet des travaux à exécuter.

Un accident a eu lieu pendant cette période de travail : un ouvrier fut tué, en tombant dans le puits, lorsqu'on descendait les sommiers du plancher de manœuvre. C'est le seul accident qui soit arrivé à nos ouvriers pendant la durée de tous nos travaux de Saint-Vaast et de Péronnes.

Le 11 septembre, on commence le forage du puits préparatoire au diamètre de 1m,37.

Après quatre jours de marche irrégulière, on reconnaît que la machine-cabestan est insuffisante pour extraire les déblais avec la cuiller, qui se remplit complétement chaque fois qu'on la plonge au fond du puits.

On décide que l'on renforcera la machine par l'application de nouveaux engrenages qui, en diminuant la vitesse, rendront le travail plus sûr; provisoirement, on perce la cuiller aux deux tiers de sa hauteur, de manière qu'elle ne puisse plus s'emplir qu'imparfaitement.

Le 21 septembre, la vis de rappel de l'appareil de sondage s'étant cassée, on est obligé de suspendre le travail, en l'absence d'une pièce de rechange.

Le 25, l'accident est réparé et l'on reprend le travail.

Le 26, rupture de l'étrier du tourne-sonde, par la violence des coups de balancier; on arrête le travail de sondage pendant quatre heures.

Le 29, arrachement des filets d'une vis des tiges de sondage; trois heures de retard pour remonter l'appareil, à l'aide du crochet de salut, et ressouder une nouvelle vis.

Le 30, cinq heures d'arrêt pour la même cause.

Le 1er octobre, le puits préparatoire est arrivé à 46 mètres de profondeur, c'est-à-dire que l'on n'a foré que 11 mètres, depuis le commencement du travail; il est vrai que l'on a

toujours marché d'une manière peu régulière et que les travaux étaient suspendus la nuit. A partir de ce jour, on travaille sans désemparer.

Le 2, le tenon de la glissière s'étant cassé pendant le travail du sondage, le trépan est resté au fond du puits; on le retire sans difficulté au moyen du crochet de salut.

Le 4, rupture d'une des vis d'assemblage des tiges; trois heures d'arrêt.

Le 5 et le 7, nouvelles ruptures de l'étrier du tourne-sonde; on se décide à faire fabriquer cette pièce sur des dimensions plus fortes; à partir de ce jour, elle ne donne plus lieu à aucun accident.

Le 11, les filets de la vis de la glissière s'arrachent; sept heures d'arrêt pour retirer l'outil et ressouder une nouvelle vis.

Le 14, on est obligé de suspendre le travail du sondage, à cause du nombre insuffisant des dents de rechange pour le trépan; le terrain est extrêmement dur, c'est du silex presque massif.

Le 16, rupture d'une tige en bois; on raccroche l'appareil de sondage avec la fanchère; quatre heures d'arrêt.

Le 20, nouvelle rupture de la vis de la glissière; douze heures de retard.

Le 22 et le 23, rupture d'une vis des tiges de sondage; quelques heures de retard pour retirer l'appareil et réparer l'accident.

Enfin le 24 octobre, c'est-à-dire après six semaines d'un travail assidu, mais dont les circonstances avaient été constamment anormales, on arrête les travaux de sondage, pour placer les nouveaux engrenages à la machine-cabestan; on remplace par des pièces plus solides les assemblages de tiges, qui avaient été faits d'abord d'après les plans primitifs de M. Kind, mais dont l'expérience nous avait fait reconnaître l'insuffisance dans les terrains difficiles que nous avions à traverser; enfin on profite du temps d'arrêt pour préparer deux séries complètes de dents de rechange pour le trépan, afin d'avoir toujours le temps de les réparer, ce qui, eu égard à la dureté des terrains, avait lieu fréquemment, à tel point que deux forgerons travaillant avec activité avaient peine à y suffire.

Le 4 novembre, le travail du sondage est remis en activité.

Le 5, au moment où l'on déroulait le câble d'extraction,

pour pouvoir alimenter la chaudière, ce câble s'est engagé entre deux roues d'engrenage; la machine ayant continué sa marche, le choc qui en résulta fut tellement fort que les deux engrenages furent brisés, ainsi que l'un des arbres du mouvement. C'est là un accident qui, croyons-nous, peut être attribué à la mauvaise volonté autant qu'à la maladresse du personnel. Il fut pris des mesures pour y parer.

Le 16 novembre, c'est-à-dire neuf jours après, ce qui est remarquable comme rapidité d'exécution, tout était réparé; la machine, avec des engrenages plus forts et des ordres de mouvement en fer forgé, était remise en activité.

A partir de ce moment, le sondage suivit une marche régulière, et il ne nous arriva plus que des accidents de peu d'importance.

Le 25 et le 26 novembre, ainsi que le 1er décembre, ruptures des tirants du contre-balancier, résultant des secousses violentes de l'appareil de sondage; ces deux tirants avaient une section de vingt centimètres carrés chacun.

Le 11 décembre, rupture de la tige du piston au point d'attache de la chaîne du balancier; six heures d'arrêt.

Le 14, rupture d'un des tirants du contre-balancier; quatre heures de retard.

Le 16, on place les nouveaux tirants du contre-balancier, faits sur des dimensions plus fortes (42 centimètres de section chacun); depuis lors, les accidents résultant du bris de cette pièce ont été moins fréquents.

Le 19, rupture du câble d'entretien. Le trépan avec ses tiges étant retombé dans le puits avec une certaine violence, toutes ces tiges furent endommagées; on put néanmoins retirer l'appareil de sondage, au moyen du crochet de salut, et, pendant qu'on s'occupait de redresser les tiges qui s'étaient tordues, nous sommes parvenu à nous procurer un câble provisoire; le travail fut repris dès le lendemain.

Le 21, rupture d'une tige au ferrement; huit heures de retard pour retirer l'appareil et apprêter une nouvelle tige.

Le 9 janvier, on descendait le trépan : lorsqu'il fut arrivé à 10 mètres du fond du puits, il rencontra un obstacle qui l'empêcha de suivre; le machiniste, qui marchait à pleine vitesse, ne pouvant arrêter instantanément sa machine, la corde de suspension et toutes les tiges furent abandonnées les unes sur les autres; tout à coup le trépan fut dégagé et retomba au fond

du puits, en produisant un choc violent qui brisa les tiges de suspension en deux points de leur longueur. On put retirer toutes les pièces à l'aide de la fanchère et du crochet de salut. La nuit même du 9 au 10, on recommençait le travail du sondage.

Le 16, nouvelle rupture des tirants du contre-balancier ; six heures de retard.

Le 4 mars, le sondage du puits préparatoire est arrêté à 135 mètres de profondeur.

Depuis ce moment, jusqu'à la fin du mois de juin, le grand sondage reste suspendu, pour des motifs indépendants de notre volonté, la société de Péronnes ayant décidé qu'il serait fait un forage de reconnaissance au fonds du puits, afin de déterminer la profondeur à laquelle on pourrait atteindre le terrain houiller.

C'est à cette époque (juin 1855) que nous avons été autorisé par le gouvernement à résider à Saint-Vaast, afin de suivre les travaux de plus près, et de donner tout particulièrement nos soins à l'exécution du cuvelage, tel que nous en avions conçu le projet (1).

Dès le commencement de juillet, on entreprend le forage du grand puits. Avant d'attaquer ce travail, on s'était mis en force : on avait installé une nouvelle machine-cabestan et affecté l'ancienne machine pour le service de l'alimentation ; on avait renforcé la chaudière à vapeur par l'adjonction d'un tube bouilleur, et enfin placé dans la tour d'extraction deux nouvelles poutres en chêne, pour consolider le siége à la molette. Un nouveau câble d'extraction, plus fort que celui dont on avait fait usage jusqu'ici, était aussi placé sur la bobine du cabestan.

Le 5 juillet, on commence à sonder avec le grand trépan, dont le diamètre est, comme on sait, de $4^m,25$.

Le 18, rupture d'une tige de sondage, au ferrement; deux heures de retard pour remonter l'appareil et remettre une nouvelle tige.

Le 2 août, même accident donnant lieu à quelques heures de retard.

Le 30, même accident.

Le 31, on installe sur le puits un nouveau trépan de grande

(1) Brevet du 25 juin 1855.

dimension, plus fort que l'ancien; il sortait des ateliers de M. Dorzée, à Boussu.

Le 11 septembre, rupture des tirants du contre-balancier; deux heures de retard.

Le 13, arrêt d'une heure pour resserrer les ressorts du piston du cylindre batteur.

Le 21, rupture de la tige de la cuiller de draguage; on la retire sans difficulté au moyen d'un crochet plat; trois heures de retard.

Le 28, on essaye pour la première fois l'instrument dit le dragueur, destiné, comme nous l'avons dit, à recueillir directement et sans les laisser tomber dans le puits préparatoire, les débris de roches qui restent sur la banquette du grand puits. Le cylindre en tôle attaché à l'instrument étant resté ancré dans le petit puits, la tige de l'outil s'est brisée quand on a tiré dessus; plusieurs des pièces du dragueur restèrent dans le trou; il fallut travailler pendant trois jours pour les retirer et pour détacher le cylindre.

C'est la seule fois que nous ayons employé le dragueur, dans le cours de nos travaux.

Le 14 octobre, pendant le travail du sondage, rupture d'une dent de trépan; on parvient à l'extraire en faisant usage du grapin pour la faire tomber dans le petit puits, et de la cuiller à soupape pour la repêcher; six heures de retard.

Le 9 novembre, rupture de deux dents de trépan; on les retire avec la cuiller; neuf heures d'arrêt.

Le 16, rupture de la tige du piston du cylindre-batteur; six heures de retard pour les réparations.

Le 19, on monte de nouveaux tirants de contre-balancier, ce qui occasionne quelques heures de suspension de travail.

Le 22, rupture de la chaîne du piston du batteur et des deux roues qui servent de guide; on refait la chaîne et l'on remet deux roues provisoires en bois que l'on avait en magasin; l'accident est réparé après quatre heures d'arrêt.

A partir du 30 novembre, on suspend le travail pendant quatre jours, pour placer une nouvelle molette et un nouveau câble d'extraction, et aussi pour faire quelques réparations aux machines; le travail du sondage est repris le 5 décembre.

Le 7, au moment où l'on remontait le grand trépan, bris de la soupape d'admission de vapeur du cylindre batteur. Toute la journée du 7 et une partie de celle du 8, furent employées

à réparer la machine; on put ensuite retirer le trépan, qui était resté suspendu dans le puits pendant la durée de ces réparations.

Le 12, rupture d'un ferrement de tige en bois; l'appareil de sondage étant retombé brusquement, trois autres tiges furent cassées; tout fut retiré, en dix heures de temps, à l'aide du crochet de salut.

Le 30, rupture d'une dent de trépan; sept heures de retard pour la repêcher, au moyen de la cuiller à soupape.

Le 11 et le 12 janvier, suspension du travail de sondage, pour réparation à la machine-cabestan.

Le 22, rupture d'une dent de trépan; six heures de retard pour l'extraire du puits.

Le 29 janvier, le grand sondage est arrêté à la profondeur de 98 mètres, point choisi pour la base du cuvelage.

Une cause de retard, qui n'a pas été signalée dans l'extrait ci-dessus du journal des travaux, le nettoyage de la chaudière à vapeur, qui devait avoir lieu de trois en trois semaines, occasionnait chaque fois un chômage de deux jours et demi. Il serait facile d'y parer, en établissant une chaudière de rechange, ce qui est à conseiller, d'ailleurs, sous plusieurs autres rapports.

Le 25 août 1855, c'est-à-dire peu de jours après que le forage du grand puits avait été mis en activité, nous avions fait un contrat avec M. Denis Detombay, fondeur à Châtelineau, qui s'était engagé à nous livrer toutes les pièces devant composer notre cuvelage en fonte, dans le délai de quatre mois.

M. Detombay ayant rencontré de grandes difficultés dans la fabrication des premières pièces, vint nous déclarer, en décembre 1855, qu'il ne pourrait pas remplir entièrement ses engagements; ainsi que nous l'avons déjà dit, des démarches furent faites alors par lui et par nous, auprès de plusieurs fondeurs du pays, pour les amener à reprendre une partie de la fourniture des tronçons de cuvelage, mais ces démarches restèrent infructueuses; c'est dans ces circonstances qu'il fut décidé que l'on modifierait le projet primitif du cuvelage, en adoptant, pour la partie supérieure du revêtement, des pièces en tôle.

Dix-neuf pièces en fonte, y compris la boîte à mousse, ont

été construites par M. Detombay, et vingt-huit pièces en tôle proviennent de la société de Monceau.

Le 8 janvier 1856, c'est-à-dire quelques jours à peine avant la fin du travail du grand sondage, le premier tronçon en fonte arrivait à l'établissement de Saint-Vaast; le 29, cinq pièces seulement étaient livrées; puis les autres arrivèrent successivement en février et en mars. Mais toutes ces pièces, outre qu'elles étaient envoyées trois ou quatre mois après le délai assigné par notre contrat, arrivaient chez nous tout à fait brutes, c'est-à-dire non tournées ni forées. M. Detombay, ouvrier très-habile et très-actif d'ailleurs, avait déjà fait d'énormes sacrifices pour satisfaire, autant qu'il le pouvait, à ses obligations, et il fallut bien nous résigner à lui venir en aide. Notre établissement de Saint-Vaast fut transformé en un véritable atelier de construction, pour exécuter tous les ajustements des pièces de cuvelage, tourner les collets, présenter les tronçons les uns sur les autres pour marquer les trous de boulons et les forer, et enfin pour essayer les pièces à la pression voulue. Toutes ces opérations exigèrent des manœuvres, en tous sens, de ces énormes tronçons en fonte. Les pièces de tôle vinrent ensuite, et il fallut leur faire subir les mêmes préparations : en outre, lorsqu'on soumit à l'épreuve ces dernières pièces, la plupart des joints d'assemblage des tôles laissaient passer l'eau, et l'on dut remater toutes les rivures. Plusieurs pièces furent remises deux ou trois fois à la cuve d'essai, avant d'être reconnues bonnes, ce qui nous occasionna de grands retards.

Enfin, après trois mois de travaux, on put mettre la main à l'œuvre pour l'établissement du cuvelage.

Le 6 mai 1856, les quatre premiers tronçons, la boîte à mousse et le fond d'équilibre, étaient suspendus sur le puits.

Le 11 mai, tout cet appareil était descendu jusqu'à la tête du niveau, et l'on commençait à descendre le cuvelage dans l'eau.

Tous les tronçons furent ensuite successivement ajustés les uns sur les autres et, à mesure que l'on descendait, on allongeait le tube adapté au fond d'équilibre.

Le 26 juin, le cuvelage touchait le fond du puits.

Le travail de la descente du cuvelage eut lieu sans accident et dura cinquante-deux jours. Nous avons cependant à signaler un fait contre leque faudra se mettre en garde, à l'occa-

sion, car il aurait pu compromettre le succès de l'opération.

Voici de quoi il s'agit : au moment où l'on se trouvait encore à 24 mètres du fond du puits, deux trous du tube d'équilibre étaient ouverts pour laisser entrer l'eau dans le cuvelage. Par oubli de la part de l'ouvrier spécialement chargé de la surveillance de l'écoulement, le niveau de l'eau s'éleva au-dessus de ces trous, et ces derniers étant noyés, il n'était plus possible de les fermer ; l'eau entrait dans le cuvelage avec rapidité ; la descente ne s'effectuait plus assez vite pour suivre l'augmentation de poids qui en résultait ; nous étions dans la plus grande anxiété, car les tiges de suspension étaient chargées outre mesure et pouvaient se rompre d'un instant à l'autre. Dans ce moment difficile, chacun paya de sa personne, le chef sondeur et les ouvriers chargés de manœuvrer les vis et de mettre les vis de rallonge, poussèrent le travail sans désemparer, pendant trente-six heures consécutives, et l'on parvint enfin à toucher le fond. La charge que portaient alors les six tiges de suspension (qui avaient quatre centimètres d'équarrissage) était d'au moins 120.000 kilog., soit 1.200 à 1.300 kilog. par centimètre quarré de section.

Du 27 juin au 14 juillet suivant, on se mit en mesure de commencer bientôt le bétonnage ; les échafaudages ayant servi à descendre le cuvelage furent démontés, et les engins, cabestans, planchers, etc., nécessaires pour l'opération finale furent installés.

Le bétonnage fut terminé le 28 août, soit en quarante-cinq jours.

Aucun incident remarquable ne s'est présenté pendant l'exécution de ce travail.

La pose des ancres à la tête du cuvelage ne donna lieu, non plus, à aucune observation intéressante.

Extrait du journal des travaux du puits d'aérage de Péronnes.

Le 29 juin 1859, on commence le forage du puits d'aérage de Péronnes. Le travail marche sans accident jusqu'au 22 juillet, époque à laquelle le puits préparatoire (de $1^m,37$ de diamètre) avait atteint la profondeur de $60^m,50$ et le grand puits (de $2^m.32$) $50^m.70$.

Le 22 juillet, une des tiges en bois se casse pendant le travail. On parvient à repêcher l'appareil de sondage et à le ramener

au jour, au moyen du crochet de salut, en saisissant la tige au-dessous de la première douille d'assemblage. Cet accident n'a occasionné que deux heures de retard.

Le 30 août, le puits préparatoire est arrivé à 79^m,70 de profondeur et le grand puits à 64^m,70. On s'aperçoit que ce dernier a dévié de la verticale d'environ 0^m,40. Pour remédier à cet accident grave, on décide que l'on adaptera au trépan, et, de plus, qu'on armera ce grand outil de guides verticaux en bois, afin de le forcer à suivre toujours la ligne du puits préparatoire.

En attendant que l'outil soit prêt, on reprend le foncement dudit puits préparatoire.

Le 2 septembre, un ouvrier laisse tomber une clef de sondage dans le puits ; on cherche toute la journée, avec la cuiller à soupape, sans pouvoir la retirer.

Le 4 septembre, pendant le travail du sondage, une dent de trépan se détache ; on la retire après quelques heures de manœuvre, au moyen de la cuiller à soupape. Quant à la clef, on suppose qu'elle a été brisée par le trépan, et l'on se décide à abandonner toute tentative nouvelle pour la repêcher, les débris de cette clef ne pouvant faire obstacle à la marche du sondage.

Le 18 septembre, le puits préparatoire est arrivé à 86^m,70 de profondeur. On arrête le travail de forage, pour monter le grand trépan avec ses nouveaux guides.

Le 22, on essaye de descendre ce grand outil, mais on ne parvient pas à le faire aller jusqu'au fond du puits, les guides en bois déplaçant un volume d'eau tel que le poids du trépan est insuffisant pour le maintenir tout à fait d'aplomb. On retire quatre des huit pièces de guides, après quoi l'outil descend très-bien.

On attaque l'équarrissage du puits à partir de 54 mètres de profondeur.

Le 3 octobre, le puits est redressé jusqu'à 64^m,70, et l'on reprend alors la marche ordinaire du travail d'élargissement.

Le 7 octobre, le grand puits est arrivé à la profondeur de 68^m,50 ; on remarque qu'il y a encore quelques aspérités dans la partie supérieure, et l'on se décide à repasser une seconde fois les parois de ce grand puits pour le remettre tout à fait droit.

Le 11 octobre, ce travail est terminé et l'on recommence l'élargissement.

Le 16 janvier 1860, on faisait le curage avec la cuiller à soupape : le chef des manœuvres ayant vissé incomplétement sur la tige, l'anneau de la corde d'extraction, quand on était occupé à remonter l'instrument, ce dernier s'échappa et vint tomber dans le puits. On a retiré la cuiller et ses tiges avec le crochet de salut; l'outil était fort endommagé et, de plus, un clapet détaché était resté dans le puits.

Du 17 au 21 janvier, on travaille à retirer le clapet à l'aide du grapin, mais on n'y parvient pas, parce que ce morceau de fer plat s'enfonce dans la bouillie dont le puits est encore rempli, et qu'il devient impossible de le saisir. On se décide à reprendre le sondage et à battre sur le clapet, jusqu'à ce qu'on arrive à fond du petit puits, sur un terrain résistant.

Le 29 janvier, le puits préparatoire était terminé à $108^m,20$ de profondeur et le grand puits se trouvait à $88^m,80$.

Dans la nuit du dimanche au lundi (29 au 30), le travail était suspendu comme il l'est d'habitude les jours fériés. Vers quatre heures du matin, le garde de nuit entendit un bruit considérable du côté du puits d'aérage en avaleresse : la maçonnerie formant le revêtement des parois, depuis le sol jusqu'à 5 mètres de profondeur, venait de s'écrouler. En tombant sur le plancher de manœuvre, cette masse énorme avait brisé les poutres de suspension du trépan, et précipité ce dernier au fond du puits préparatoire. C'était le petit trépan. Cet outil était resté suspendu, le dimanche matin, à 5 mètres du fond, avec 75 mètres de tiges de bois, qui furent cassées en trois pièces ; une grosse fourche de suspension en fer, un des pieds-droits soutenant le chemin de fer de service, les deux ablocs portant le trépan, tout fut jeté dans le puits, en même temps qu'une quantité considérable de maçonnerie et de terre, qui vinrent remplir l'excavation et recouvrir le trépan sur une hauteur de plus de 8 mètres.

Avant de prendre des mesures en vue de réparer l'accident, nous jugeons indispensable d'étayer toutes les constructions voisines du puits, afin d'éviter de nouveaux malheurs.

On se met donc immédiatement à déblayer autour du bâtiment et à placer un plancher de sûreté sur le puits, après quoi l'on reconstruit complétement la maçonnerie.

Le 17 février, tout est rétabli en bon état à l'extérieur.

On remonte alors le plancher de manœuvre et l'on commence à repêcher les pièces de bois qui nagent dans le puits, notamment le support du chemin de fer, les ablocs et deux parties des tiges de suspension. Une dernière partie de ces tiges reste attachée au trépan, savoir : la glissière proprement dite, la tige en fer qui la surmonte (environ 3 mètres de longueur), deux tiges de 15 mètres en bois, et enfin le bout cassé d'une troisième tige en bois.

On parvient à saisir l'appareil avec le crochet de salut; mais l'outil est tellement ancré que, malgré les coups vigoureux du balancier de battage, on n'arrive pas à le faire bouger et même la tige finit par céder, l'un des ferrements se casse par les secousses qu'il reçoit.

On reconnaît l'inutilité de nouvelles tentatives de ce genre, et l'on décide que l'on cherchera à dégager le trépan, en déblayant le fond du puits avec un petit foret de 0m,30 et une cuiller de 0m,24 de diamètre et de 4m,50 de longueur; cette cuiller pouvait passer entre les guides du trépan et arriver jusque sur la lame qui porte les dents.

Du 25 février au 6 mars, on travaille à l'extraction des déblais.

Le 7 mars, on était arrivé à vider le puits jusqu'à 3 mètres de fond; on essaye d'accrocher la tige en bois qui reste encore sur le trépan, au moyen du crochet de salut, puis on s'attelle de nouveau sur le balancier de battage. Le trépan résiste et l'un des ferrements de la tige est arraché par l'effort de traction que l'on exerce.

On reprend le travail de curage, afin d'essayer encore de dégager le trépan.

Le 12 mars, on accroche l'outil avec trois tiges en fer, deux que l'on attache aux guides du trépan, avec des crochets plats, et la troisième avec un crochet de salut à la tige dudit trépan, au-dessous de la grosse douille. Sur les deux tiges des guides on monte les grandes vis devant servir à descendre le cuvelage, et avec lesquelles on peut produire un effort considérable, au moyen des engrenages qui y sont adaptés; la tige du crochet de salut est attachée au balancier du batteur. Le trépan ainsi saisi sur trois points, on tire avec force, la pression de la vapeur étant à quatre atmosphères sur le piston du batteur, et huit hommes étant attelés aux vis. On ne parvient pas à ébranler l'outil; les grosses poutres placées sur le puits pour rece-

voir les vis fléchissent sous l'effort énorme de tous ces appareils; les crochets eux-mêmes se plient et les tiges se détachent des guides.

On refait les crochets et l'on recommence l'opération; mais une nouvelle rupture se produit et, de plus, le choc occasionne de nouveaux éboulements de terre dans le puits.

Il n'y a plus moyen d'atteindre jusqu'aux guides du trépan pour renouveler l'expérience.

Le 18 mars, on reprend l'extraction des terres à l'aide des petits outils, afin de dégager le trépan.

Le 22 mars, on parvient encore une fois à accrocher les guides du trépan avec les deux tiges, et l'on remet la troisième tige, avec le crochet de salut, au-dessous de la grosse douille; les vis sont toujours attachées aux deux premières tiges et l'on attelle sur la troisième le balancier du batteur et la corde de la machine-cabestan. On tire avec toutes les forces réunies, et les deux crochets des guides s'échappent de nouveau; on les retire; ils étaient intacts, ce qui fait reconnaître que les guides du trépan eux-mêmes se sont cassés.

(Ces pièces de fer avaient $0^m,12$ de hauteur sur $0^m,08$ d'épaisseur, soit 96 centimètres quarrés de section).

Le 27 mars, on se prépare encore à accrocher le trépan. On essaye de dévisser la dernière tige en bois qui est restée sur la glissière; malheureusement le bout de cette tige est en fer, sur une longueur de 5 mètres, et il est courbé de manière à rejeter la tige contre les parois du puits. Néanmoins, à force d'essayer, on parvient à enlever cette dernière tige et à visser ensuite sur la glissière une nouvelle tige partant de la surface. Cette tentative difficile a réussi par l'application de deux crochets de salut, l'un en bas et l'autre en haut de la tige en bois; on avait adapté à la nouvelle tige qu'il s'agissait de visser un chapeau conducteur en tôle d'une forme conique.

C'est le succès de cette opération qui a décidé du sort du travail; car nous étions à bout d'expédients, et l'on parlait même de la nécessité d'abandonner.

Le 31 mars, on attache la nouvelle tige au balancier de battage, et l'on tire vigoureusement et par coups répétés; après dix ou douze heures de marche, la glissière du trépan est dégagée.

Le 2 et le 3 avril, on reprend la manœuvre du battage, et après un travail suivi de vingt-quatre heures environ, le tré-

pan commence à se détacher; il était alors remonté de 7 à 8 centimètres.

La violence des coups du batteur était telle que, trois fois pendant ces deux journées, la tige du piston de la machine fut cassée, et cette pièce n'a pas moins de 6 centimètres de diamètre.

Ensuite la marche ascensionnelle du trépan augmenta rapidement d'heure en heure et, dans la nuit du 3 au 4 avril, on parvint enfin à ramener au jour l'outil de sondage tout mutilé.

Mais tout n'était pas terminé : il restait dans le puits une quantité considérable de morceaux de fer provenant du bris des outils; il y avait aussi beaucoup de bois, de briques, etc. On se mit de suite en mesure de retirer tous ces objets au moyen du grapin. On a réussi, à l'aide de cet instrument, à extraire non-seulement tous les morceaux de fer petits et gros qui restaient dans le puits; mais, ce qui est bien plus remarquable, un bloc de vieille maçonnerie de 1^{m},80 de longueur, 1 mètre de largeur et 0^{m},60 de hauteur, ce qui représente 1 mètre cube, soit un poids d'environ 2.000 kil.

Ce bloc a été enlevé trois fois avant d'arriver au jour; les premières fois, la masse put s'échapper des griffes de l'instrument lorsque celui-ci sortait de l'eau; pour réussir la troisième fois à le tenir accroché, il fallut descendre au fond du puits jusqu'à la tête du niveau, et y saisir la masse en la liant avec des cordes.

Enfin, le 2 mai 1860, c'est-à-dire après trois mois d'un travail extrêmement laborieux, tous les dégâts occasionnés par l'accident étaient réparés, et l'on pouvait reprendre le forage du puits.

Le 4 juin, ce dernier était complétement achevé, le puits préparatoire à 108^{m},20 et le grand puits à 105^{m},20 de profondeur.

On peut se convaincre, par l'exposé qui précède, que, à part les deux accidents importants que nous avons signalés, la déviation du puits et l'éboulement de la maçonnerie, le travail de Péronnes s'est exécuté rapidement et sans difficulté.

Quant à la déviation, c'est la première fois qu'elle se produit; nous en avons indiqué les causes, en même temps que le moyen de l'éviter à l'avenir, par l'application de guides verticales à l'outil de sondage. Nous conseillons d'en faire usage dans tous

les terrains; il est d'une grande simplicité et peu coûteux.

L'éboulement de la maçonnerie du puits est un accident tout à fait indépendant du mode de travail : il est dû à une cause fortuite que nous allons faire connaître. Dans les premiers moments, nous l'avons attribué à la mauvaise confection de la maçonnerie, dont l'épaisseur n'était pas conforme au plan; le mortier non plus n'avait pas fait prise comme il aurait dû le faire depuis huit mois qu'il était placé; il est vrai que les pluies incessantes de l'année dernière avaient fortement détrempé les terrains environnants, ce qui a dû contribuer notablement à rendre la poussée plus forte. Mais enfin, malgré toutes ces défectuosités, nous ne pouvions encore nous rendre bien compte de ce qui s'était passé lorsque, par l'extraction du bloc énorme de maçonnerie retiré du puits, nous avons été amené à faire des recherches sur l'existence d'une vieille construction (faite pour l'ancienne machine à feu de Péronnes) qui, nous n'en doutons plus maintenant, a été la principale cause de l'accident. Cette construction divisait la circonférence du puits en quatre parties isolées, contre chacune desquelles se trouvait une masse de 2 à 3.000 kil.; la poussée du terrain fit surplomber l'une de ces masses, et c'est ce qui a déterminé l'éboulement.

Le 5 juin 1860, on a commencé à démonter les outils de forage et à établir la charpente nécessaire pour installer les tiges et les vis de suspension destinées à descendre le cuvelage. Ce travail préparatoire et la descente des pièces qui eut lieu ensuite ne furent signalés par aucun accident.

Le bétonnage, que l'on a exécuté du 26 juillet au 21 août, a marché aussi très-régulièrement; nous n'avons eu, dans le cours de cette opération, qu'un seul accident, peu grave d'ailleurs, puisqu'il n'a gêné le travail que pendant deux jours.

Voici en quoi il consistait : le 13 août, alors que le bétonnage était déjà fait sur 50 mètres de hauteur, une cuiller, qu'on remontait, fut accrochée entre le cuvelage et les parois du puits; en tirant dessus, on avait cassé les deux cordes des treuils qui faisaient le service de cette cuiller. Le lendemain, on parvint à dégager l'outil et à le ramener au jour.

Le bétonnage put continuer avec les deux autres cuillers.

L'épuisement de l'eau du cuvelage et l'enlèvement de l'appareil d'équilibre n'ont présenté aucun incident à signaler ici.

L'approfondissement du puits jusqu'au niveau de 118 mètres, où se trouve la galerie de communication pour l'aérage, travail qui s'est fait par les procédés ordinaires, n'a donné lieu non plus à aucune observation importante.

AFFINAGE DE LA FONTE

POUR FER ET ACIER, PAR LE PROCÉDÉ BESSEMER.

Par M. GRUNER,
Ingénieur en chef, professeur à l'École des mines.

Lorsque, il y a quatre ans, M. Bessemer fit connaître, devant l'Association britannique réunie à Cheltenham (en août 1856), sa nouvelle méthode d'affinage, il y eut un *tolle* presque général d'incrédulité, et je dois avouer que j'étais du nombre de ceux qui doutaient, avec la réserve toutefois que le procédé nouveau « pourrait donner des produits de qualité convenable, soit fer, soit acier, en opérant sur des fontes *pures* (1). » Mais alors M. Bessemer avait la prétention de produire du bon fer avec n'importe quelle fonte ; et c'est cette prétention surtout qui m'avait paru exorbitante et qui sans doute aussi était pour le plus grand nombre le principal motif d'incrédulité. Les essais entrepris dans les ateliers du Great-Northern et dans les forges de Saint-Pancrace et d'Ebbw-vale prouvèrent, en effet, que la méthode nouvelle ne réalisait pas les promesses faites. Ces échecs néanmoins ne découragèrent pas M. Bessemer ; il en chercha les causes et s'appliqua dès lors à traiter surtout des fontes peu chargées de matières étrangères. Une usine fut établie à Sheffield ; des essais nombreux furent faits à l'arsenal royal de Woolwich, et le procédé nouveau est même déjà appliqué, depuis Historique des essais.

(1) *Bulletin de la société de l'industrie minérale*, t. II, p. 200.

deux ans environ, dans une forge de Suède. Fort de l'expérience acquise, M. Bessemer exposa, le 24 mai 1859, devant l'Association des ingénieurs civils de Londres les résultats obtenus, et présenta, à l'appui de ses assertions, de nombreux échantillons de fer et d'acier affinés par sa méthode. Il fit connaître sommairement le procédé lui-même et les avantages qui devaient en résulter. Quelques doutes furent encore émis par divers membres de l'Association; on rappela spécialement le complet insuccès des premiers essais; mais les faits annoncés par M. Bessemer furent formellement confirmés par le directeur de l'arsenal de Woolwich, le colonel E. Wilmot, qui avait été chargé officiellement de suivre les essais et d'éprouver les produits nouveaux. Ce dernier, comme M. Bessemer, avoua d'ailleurs que la méthode n'était pas applicable aux fontes *sulfureuses* et *phosphoreuses;* que les échecs subis à l'origine provenaient de là, mais qu'en traitant des fontes pures, même siliceuses, la méthode Bessemer bien appliquée donnait réellement des produits excellents et à des prix relativement bas. Ce qui confirme d'ailleurs ces expériences, c'est que d'autres forges, à la suite d'essais répétés, montent également les appareils destinés à pratiquer en grand la méthode nouvelle. Ainsi, en juin dernier, je vis les usines de la compagnie de Weardale (Durham) se mettre en mesure d'affiner leurs fontes par le procédé Bessemer. Ces fontes s'obtiennent en traitant, aux hauts-fourneaux de Towlaw, les fers spathiques et les mines douces manganésifères qui se rencontrent en filons dans le calcaire carbonifère de Stanhope et d'Allenhead.

En France, M. Jackson, de Saint-Seurin, a affiné par la même méthode, pour acier fondu, les fontes blanches manganésifères provenant des hématites brunes de

Vicdessos. La méthode Bessemer se trouve donc déjà bien réellement dans la phase de son application industrielle et, par ce motif, je vais tâcher, soit d'après le mémoire de M. Bessemer, soit d'après les renseignements verbaux que je dois à l'obligeance de M. Piccard, ingénieur de M. Jackson de Saint-Seurin, de faire connaître l'état présent de la méthode nouvelle.

Observons d'abord que M. Bessemer affirme dans son mémoire qu'il peut produire indifféremment de l'acier ou du fer fondu ; que c'est tout simplement une question de temps ou de quantité de vent. Toutefois il résulte des renseignements que m'a fournis M. Piccard que la production régulière du fer doux serait difficile; il ne demeurerait pas toujours à l'état fluide et formerait parfois des loups, du moins lorsqu'on n'opère pas sur des masses assez fortes.

Au reste, comme l'affinage pour fer est nécessairement plus coûteux, puisque la durée de l'opération, le vent absorbé et surtout le déchet sont plus considérables, et que l'acier a d'ailleurs une ténacité à peu près double, il est bien évident que le procédé Bessemer ne sera, dans tous les cas, généralement appliqué qu'en vue de la fabrication de l'acier fondu.

Lorsque M. Bessemer eut reconnu que sa méthode ne pouvait s'appliquer aux fontes sulfureuses et phosphoreuses, il eut d'abord recours aux meilleures fontes de Suède, et c'est encore elles qu'il affine dans son appareil lorsqu'il veut obtenir de l'acier de première qualité pour la coutellerie; il réussit également en se servant de fontes au bois, venant des Indes et de la Nouvelle-Écosse (1). Il traita ensuite les fontes au coke provenant

(1) Ces mêmes fontes sont puddlées pour acier à Sheffield par la maison Camel et Compagnie.

de la fusion exclusive des hématites rouges (*red ores*) du Cumberland. Elles sont fournies par les deux principales usines de ce comté, Cleator-Moor et Workington. Enfin les fontes de la forêt de Dean et celles de Towlaw, de la compagnie de Weardale (1), ont donné de même de forts bons produits. Celles-ci s'obtiennent en fondant les fers spathiques ci-dessus mentionnés, et les fontes de la forêt de Dean en traitant, comme dans le Cumberland, des hématites du calcaire carbonifère. Par contre, à cause du phosphore, on eut toujours des produits peu satisfaisants en affinant les fontes de minerais houillers, même les premières marques de Pontypool et Blaenavon.

Disposition de l'appareil.

On sait que l'ancien appareil Bessemer (2) est une sorte de petit cubilot à plusieurs tuyères latérales, où la fonte en parfaite fusion est soumise à l'action d'un courant d'air très-violent, sans le concours d'aucun combustible.

L'appareil nouveau ne diffère du précédent que par la position des tuyères; au lieu d'être latérales, elles sont verticales et placées dans la sole même du four. Ce dernier, comme le montrent les *fig.* 6, 7, 8 (Pl. II), ressemble de tous points à la panse d'une grande cornue ordinaire de laboratoire. Il se compose d'une forte enveloppe en tôle ou fonte, garnie intérieurement d'une chemise en pisé réfractaire à excès d'alumine. Le four est mobile autour de deux tourillons, et peut être renversé à droite ou à gauche, comme l'indiquent les *fig.* 6 et 8, à l'aide d'une manivelle agissant par un pignon sur une roue dentée ou crémaillère circulaire; sous la sole

(1) D'après les mémoires du *Geological survey*, les minerais de Weardale et de Cleator-Moor ne renferment que des traces de phosphore et de soufre.

(2) *Annales des mines*, 5ᵉ série, tome IX, page 643.

du four est une sorte de chambre à vent, d'où partent les tuyères verticales; le vent y est amené par les tourillons mêmes pour ne pas gêner les mouvements du four. Ils sont donc disposés à la façon des axes d'une machine à vapeur oscillante.

Les *fig.* 6, 7, 8, Pl. II, extraites du mémoire Bessemer, indiquent une seule ouverture à la partie supérieure, servant tour à tour pour l'introduction de la fonte, la coulée de l'acier et la sortie des produits gazeux pendant l'opération même. Parfois cependant la cornue présente en outre, vers le haut, deux ouvertures latérales pour la sortie des gaz. Les dimensions de la cornue ne sont pas indiquées par M. Bessemer; elles dépendent nécessairement du poids de la charge traitée par opération. Or l'inventeur déclare qu'il pourrait affiner à la fois jusqu'à 10 à 20 tonnes de fonte. Pourtant il ressort, ce me semble, des termes mêmes dont il se sert, qu'en réalité il n'a encore jamais opéré sur des masses aussi colossales. Quoiqu'il en soit à cet égard, on monte à Saint-Seurin, à la suite d'essais nombreux, poursuivis depuis un à deux ans, deux cornues dont chacune doit pouvoir contenir 500 à 1000 kilogrammes de fonte par opération. Or, pour pareille charge, les dimensions principales sont approximativement les suivantes : $0^m,60$ à $0^m,65$ de diamètre intérieur, 1 mètre à $1^m,20$ de hauteur au-dessus de la sole à vent, 25 tuyères ou jets de vent de $0^m,006$ de diamètre, avec 2 atm. 1/2 de pression de vent en moyenne (1). Avec ces dimensions, la hauteur du bain métallique serait de $0^m,50$ pour une charge de 1000 kilogrammes, et par suite la résistance à l'entrée du vent d'un tiers d'atmosphère.

(1) L'usine de Saint-Seurin a acheté pour cette installation les machines qui desservaient le chemin de fer atmosphérique de Saint-Germain.

La sole du four, ou cloison à tuyères, est formée de plusieurs cônes moulés en terre réfractaire, percés chacun par cinq conduits cylindriques de $0^m,006$ de diamètre, et cimentés ensemble, au moyen d'argile réfractaire, comme des voussoirs d'une portion de calotte sphérique à très-grand diamètre (*fig.* 9) (1).

Opération. La fonte que l'on veut affiner peut être prise directement au haut-fourneau, ou devra être refondue soit dans un cubilot, soit dans un reverbère; ce dernier appareil est évidemment préférable lorsqu'il s'agit de fonte au bois. C'est un four de ce genre que l'on monte à Saint-Seurin; il est calculé pour une charge de 6000 kilog., de façon à fournir à plusieurs opérations successives. La fonte doit être grise, ou tout au moins blanche lamelleuse, fortement carburée.

Tandis que la fonte est mise en fusion, on chauffe la cornue au rouge intense en la remplissant de coke et en faisant agir le vent. Une heure suffit en général.

On renverse alors et nettoie l'appareil en retirant avec soin les escarbilles, cendres et mâchefers; puis on le place dans la position indiquée par la *fig.* 6, pour y amener la fonte en fusion. Dès que la charge est faite, on relève la cornue, et au même instant on donne le vent pour empêcher la fonte de couler dans les tuyères (*fig.* 7). Le métal, violemment traversé par les vingt-cinq jets d'air, est fortement soulevé; l'oxydation du fer et des substances étrangères accroît la température; des scories se produisent et sont lancées partiellement, avec des globules de fer, hors de la cornue, sous forme

(1) Les tuyères de l'appareil figuré dans le mémoire Bessemer sont en fonte ou en fer, comme le montrent les *fig.* 6 à 8, mais le fourneau de Saint-Seurin est pourvu de vingt-cinq tuyères moulées en terre, semblables à celles de la *fig.* 9.

de pluie de feu; la flamme d'abord violette, passe à l'orange, puis au blanc, et les grandes étincelles que l'on observe à l'origine décroissent peu à peu et se transforment finalement en une sorte de jet lumineux composé d'une succession continue de points brillants. Ces modifications successives dans l'apparence de la gerbe de feu, qui s'échappe par le col de la cornue, permettent de juger des progrès de l'opération. Lorsqu'on est arrivé au point voulu, soit acier, soit fer, on incline la cornue en sens inverse de la position première (*fig.* 8); on arrête le vent et fait couler le produit fondu soit directement dans une lingotière, soit d'abord dans un chaudron en fer enduit d'argile réfractaire, semblable à ceux dont on fait usage dans les aciéries où l'on coule des pièces de fortes dimensions (1). C'est un chaudron de ce genre qui est représenté par la *fig.* 8. Un trou de coulée fermé par un tampon est pratiqué dans le fond et permet de verser le métal fluide à l'aide d'une grue dans une ou plusieurs lingotières. Coulée.

Dès que la cornue est vide, on la recharge de suite pour profiter de la chaleur des parois; puis une deuxième opération se fait comme la première. Le travail marche ainsi d'une façon continue jusqu'à ce que la chemise réfractaire soit fortement corrodée, ce qui arrive généralement en moins de vingt-quatre heures; mais avec deux appareils marchant alternativement on peut affiner sans interruption. M. Bessemer assure qu'en

(1) M. Bessemer pense que la durée de l'opération pourrait être réglée par une sorte de compteur qui mesurerait le nombre de mètres cubes de vent. Mais cela suppose évidemment que l'air aspiré par la machine soufflante, aurait constamment la même densité et la même humidité, qu'il serait toujours fourni au même degré de compression, et enfin que la fonte serait constamment de même nature.

Angleterre une chemise en pisé ne coûte que 12 sh. (15 fr.), qu'elle est battue en très-peu d'heures, peut déjà recevoir la fonte en fusion deux heures après la fin du battage et résiste aisément au travail de 70 à 90 tonnes de métal. Au reste, même si nous supposons ces chiffres exagérés, il est bien évident que les frais résultant de ce chef seront dans tous les cas fort peu considérables.

Durée d'une opération et déchets.

Selon le degré de décarburation auquel on désire amener le produit, la durée d'une opération varie entre 10 et 25 minutes. Le déchet est de 12 à 15 p. 100 pour l'acier; de 20 à 22 p. 100 pour le fer. A ces chiffres il faut d'ailleurs ajouter le déchet qu'entraîne l'étirage de l'acier fondu ordinaire.

Travail des lingots.

Les lingots d'acier ou de fer sont martelés, laminés, travaillés comme les produits similaires de l'affinage ordinaire, avec cette différence toutefois qu'il n'est jamais nécessaire, même pour le fer, de chauffer au blanc soudant; les plus grosses pièces s'obtiennent directement par voie de fusion. Il n'y a plus ni paquetage ni soudage; on étire le fer comme l'acier fondu; les scories sont expulsées par la fusion même, et le travail mécanique se borne en quelque sorte à donner au métal le profil voulu.

Un premier martelage est cependant nécessaire pour rapprocher les molécules, accroître la densité, et par suite la ténacité du produit. C'est d'ailleurs le cas de tout métal fondu; l'acier fondu ordinaire, comme le cuivre et comme le zinc, n'acquiert le maximum de ténacité qu'à la suite d'un martelage ou laminage plus ou moins prolongé. Cet accroissement de ténacité ressort nettement des chiffres suivants, résultats d'essais faits à l'arsenal de Woolwich sous la direction du colonel E. Wilmot.

En soumettant les barres à un effort de traction, suivant le sens de leur axe, la rupture eut lieu sous les charges dont voici les moyennes :

NATURE DU MÉTAL ESSAYÉ (1).	CHARGE de rupture par pouce carré en livres anglaises.	CHARGE de rupture par millimètre carré en kilogs.
	liv.	k.
Fer fondu en lingots bruts non martelés.	41.242	28,99
Fer fondu martelé ou laminé en barres fortes. . .	72.613	51,04
Fer fondu directement laminé en tole de chaudières	68.347	48,04
Acier fondu en lingots bruts, (expériences nombreuses ramenées à 3 moyennes).	45.836 68.259 68.998	32,22 47,98 48,50
Acier fondu martelé ou laminé en barres, expériences nombreuses ramenées à 3 moyennes). .	154.825 157.881 148.324	108,83 110,98 104,26

(1) M. Bessemer n'indique pas dans son mémoire la provenance des fontes ; mais il résulte de l'ensemble du mémoire et surtout de ce qu'il dit de leur prix, qu'elles proviennent presque toutes de la fusion des hématites rouges du Cumberland par le coke.

On voit par ce tableau, non-seulement que la ténacité s'accroît, dans tous les cas, avec le martelage des lingots, mais que cet accroissement est surtout très-sensible pour l'acier. En outre, comme nous le disions plus haut, la ténacité de l'acier martelé est plus que double de celle du fer. Si d'ailleurs on compare ces chiffres à la ténacité des fers et des aciers ordinaires, on remarquera que le fer Bessemer est un peu supérieur aux meilleurs fers ordinaires à la houille ; car ces derniers résistent rarement à la traction de 40 à 45 kilog. ; mais ils n'atteignent pas les meilleurs fers au bois, dont la charge de rupture va jusqu'à 60 et 65 kil. La tôle de fer est relativement meilleure, car les tôles ordinaires les plus estimées dépassent de peu la charge de 40 kil. Ainsi, d'après M. Fairbairn, celles du Staffordshire vont à . . . . 45300 liv. ou 32 kil.
et celles de Lowmoor à . . . . 57120 liv. ou 40 kil.

Enfin, les aciers Bessemer sont réellement d'une ténacité exceptionnelle, puisqu'ils résistent tous à plus de 100 kil., et plusieurs à 110, tandis que les aciers ordinaires sont en général au-dessous de 100 kil.

Il résulte donc, en résumé, des chiffres que nous venons de citer, que la méthode Bessemer convient spécialement pour la fabrication de l'acier, et que cet acier est pour le moins aussi tenace que l'acier fondu ordinaire.

Quant aux autres qualités du fer et de l'acier, il résulte également des essais faits à Woolwich qu'ils sont l'un et l'autre aussi bons que les produits les plus estimés de la métallurgie anglaise. Le fer peut entièrement se replier sur lui-même sans présenter la moindre crique, et l'acier a servi à la confection de tous les instruments d'alésage et de tournage dont on fait usage dans les ateliers de Woolwich.

Une analyse faite par le chimiste du département de la guerre ne signale dans le fer Bessemer que 0,0002 de soufre avec des traces de phosphore et de manganèse; mais ni silicium ni graphite, et seulement une minime dose de carbone combiné.

Prix de revient.

D'après ce qui précède, il est bien évident que le prix de revient du fer, et surtout de l'acier Bessemer, doit être fort peu élevé. En dehors du déchet, il n'y a réellement à compter que les frais de main-d'œuvre et de production du vent; le reste est relativement insignifiant, surtout lorsqu'on prend la fonte directement au haut-fourneau, ce qui pourrait se faire très-facilement en France dans les forges au bois.

M. Bessemer pense que dans le district des hématites rouges (Cumberland et Lancashire), en prenant la fonte directement au haut-fourneau, le prix de revient de l'acier ne devrait pas être supérieur à 4 liv. st.; soit

100 fr. la tonne, le prix des fontes étant de 2 liv. 10 sh. à 3 liv.

Mais à Woolwich, où le combustible, la fonte et la main-d'œuvre sont plus chers, le prix de revient moyen a été de 6 liv. 10 sh., en opérant sur des fontes de 3 liv. 11 sh. à 3 liv. 15 sh.

Le détail du prix de revient serait approximativement le suivant pour le fer doux :

	liv.	sh.		liv.	sh.
Fonte à 20 ou 25 p. 100 de déchet.	4	10	à	4	15
Frais de refonte au cubilot	»	5		»	5
Vent, main-d'œuvre, matériaux réfractaires, frais divers et généraux.	1	10		1	10
Total	6	5	à	6	10

Si l'on peut se fier aux renseignements qui précèdent, et je ne vois aucun motif pour en douter, la fabrication de l'acier fondu, et en partie celle du fer, serait donc à la veille de changer de face. L'acier fondu pourrait être obtenu à des prix singulièrement réduits. Conclusions.

Toutes les fontes non sulfureuses, ni phosphoreuses, même celles qui renferment peu de manganèse, s'affineraient aisément pour acier fondu dans l'appareil Bessemer. Aussi en France, plus qu'ailleurs, cette méthode nouvelle mérite d'être étudiée. Elle peut être appelée à redonner une vie nouvelle à nos districts de forges au bois, où les fontes sont de qualité supérieure, tels que la Franche-Comté, le Berri, le Périgord et les Pyrénées. On renoncerait à l'affinage comtois, et le charbon de bois servirait exclusivement à la fusion des minerais.

Cherchons maintenant, pour terminer, sinon à formuler la théorie complète de la nouvelle méthode d'affinage, au moins à en apprécier les points les plus saillants. Considérations théoriques sur le procédé Bessemer.

Deux faits surtout frappent tout d'abord : la haute température qui se manifeste en l'absence de tout combustible charbonneux et la rapidité avec laquelle le travail se fait.

Causes de la température élevée.

Quant à la température, rappelons que le même fait se produit, dans l'affinage comtois, lors de l'avalement, et que l'absence du charbon est précisément jusqu'à un certain point la condition *sine quâ non* d'une température fort élevée, puisqu'en présence de ce combustible il y a toujours formation d'oxyde de carbone, et par cela même refroidissement relatif.

Dans la méthode Bessemer, le métal est amené fondu dans la cornue, c'est-à-dire à environ 1.600° ; puis, au bout de peu de minutes, la chaleur est assez élevée pour maintenir l'acier et même le fer à l'état fluide, ce qui suppose successivement 1.800° et 2.000°.

L'air, en traversant la fonte, oxyde directement le métal dominant; c'est la combustion du fer, plus que celle du graphite et du silicium, qui engendre la chaleur, puisque des trois principaux éléments brûlés, le fer est de beaucoup le plus abondant.

En opérant sur 1.000 kil., le métal est amené en dix minutes à l'état d'acier, en subissant un déchet de 12 à 15 p. 100, sur lesquels environ 10 p. 100, soit 100 kil., sont du fer. Ainsi, par minute, on brûle à peu près 10 kil. de fer. Or il est facile de montrer que la chaleur ainsi développée est plus que suffisante pour amener le fer successivement à 1.800° et 2.000°.

D'après Dulong, le litre d'oxygène développe, en brûlant du fer, 6.216 unités de chaleur, ou 1 gramme d'oxygène, 4.327 unités (1).

---

(1) *Annales de physique et de chimie*, 3e série, tome VIII.

D'après M. Desprez, on aurait même 5.325 unités (1).

Nous admettrons le chiffre inférieur, parce que dans les expériences calorimètriques le fer passe à l'état d'oxyde magnétique ou même de peroxyde, tandis que, dans l'appareil Bessemer, le fer reste principalement à l'état de protoxyde, uni à la silice, et qu'il est impossible de savoir dans quel rapport se trouvent les quantités de chaleur dévoloppées successivement par la formation graduelle des divers oxydes. On est donc exposé, même en prenant le chiffre de Dulong, à trouver un nombre trop élevé. Néanmoins, comme je néglige, dans le calcul des calories développées, la chaleur fournie par la combustion du graphite et du silicium, je dois plutôt obtenir, en définitive, une somme de chaleur trop faible.

Les 10 kil. exigent, pour se transformer en protoxyde $\left(\frac{100}{350}\right)$ 10 kil. $= 2^k,85$ d'oxygène et développent par suite $2,85 \times 4.327 = 12.332$ calories.

En dix minutes, on aura donc 123.320 calories.

Cette chaleur sert essentiellement à porter le fer, les scories et l'azote à 1.800°. Comme on ne connaît pas la chaleur spécifique des scories et que le fer métallique restant forme les neuf dixièmes de la masse totale, on peut admettre, sans grande erreur, que la chaleur totale absorbée est égale à celle qu'il faudrait pour porter les 1.000 kil. de fer à 1.800°, plus celle qui est nécessaire pour amener l'air tout entier, et non plus seulement l'azote, à la même température de 1.800°.

---

(1) *Physique de Pouillet.*

Pour le fer qui part de 1.600°, on a : Calories.

1.000 × 0,13 × 200° = 13.000 (1)

Pour l'air partant de 0° :

$$28^k,5 \times \left(\frac{1.000}{231}\right) \times 0,26 \times 1.800° = 57.754$$

Total. 70.754

La différence entre 70.754 et 123.320 est assez grande pour compenser largement les pertes de chaleur qui peuvent avoir lieu par rayonnement direct, et par les parois de l'appareil, surtout si l'on songe que la chaleur se développe au centre même de la masse de fer sur le chemin des vingt-cinq petits jets d'air qui opèrent la combustion.

Pendant les dix minutes qui suivent, il se produit encore une chaleur égale, tandis que la chaleur absorbée ne s'accroît que de celle qui est nécessaire pour porter l'air de 1.800 à 2.000°, soit de $28,5 \times \frac{1.000}{231} \times 0,26 \times 200 = 3.817$ calories. On aura donc en tout 74.571 calories au lieu de 70 754 ; or ce n'est pas cette légère différence qui pourrait empêcher le fer doux de rester à son tour à l'état fondu.

Il est vrai que la masse de fonte pourrait fort bien être traversée par un excès d'air, d'où résulterait alors une plus forte absorption de calorique. On conçoit que cela puisse surtout arriver lorsqu'on opère sur de trop faibles masses de fonte et lorsque le courant d'air n'est pas suffisamment divisé.

D'ailleurs, en opérant sur de faibles quantités de fonte (moins de 100 à 200 kil.), la chaleur absorbée par les parois de la cornue, ou en général la chaleur perdue, est relativement plus forte ; aussi, dans ces cir-

(1) Ce chiffre est un peu faible, parce que 0,13 est la chaleur spécifique moyenne du fer entre 0 et 300°, et que sa capacité calorifique s'accroît avec la température.

constances, il sera évidemment difficile de prévenir la formation des loups. C'est par ce motif sans doute que M. Bessemer recommande d'opérer sur de grandes masses, et, dans son mémoire, il attribue même l'insuccès de ces premiers essais tout autant à la petitesse des masses qu'à la présence du soufre et du phosphore dans les fontes. C'est en opérant sur de petites masses que le déchet s'élevait souvent jusqu'à 40 p. 100.

Observons encore qu'à l'origine on injectait le vent latéralement et par des buses plus grandes et moins nombreuses, ce qui rendait évidemment l'absorption complète de l'oxygène et celle de la chaleur produite plus difficiles.

Il suit donc de là qu'au point de vue de la chaleur développée, le procédé Bessemer doit nécessairement d'autant mieux réussir que la colonne de métal fondu sera plus élevée (entre certaines limites bien entendu), par suite, la pression du vent plus forte; puis aussi, le degré de division de ce dernier en menus jets plus avancé (1).

Il serait intéressant de savoir si, dans le cas des conditions ci-dessus développées, il y a excès d'air *ou* non. On pourrait y arriver s'il était possible de calculer rigoureusement le volume injecté.

Mais la section des buses est plus ou moins rétrécie par des engorgements et la tension du vent plus ou moins annihilée par la pression de la fonte. Il faudrait donc, pour résoudre la question, avoir recours à l'analyse des gaz qui s'échappent de la cornue. A dé-

(1) L'air chaud accroîtrait évidemment la température du produit, mais si, par la dilatation de l'air, on devait réduire le poids de l'oxygène injecté, il en résulterait forcément, d'autre part, une combustion moins vive et une chaleur locale moins intense.

faut de cela, essayons cependant de nous en rendre compte par le calcul.

La pression du vent est de 2 atm. en moyenne. Soit 1 atm. en excès sur la tension ordinaire. Dans le cas d'une charge de 1000 kil., la colonne de fonte fluide équivaut à peu près, comme on l'a vu, à un tiers d'atmosphère; mais en tenant compte des autres obstacles à vaincre, il doit y avoir certainement une perte totale d'une demi-atmosphère. La tension motrice est par suite au maximum de 1/2 atmosphère. Or, d'après cela, on trouve que les 25 buses de $0^m,006$ doivent fournir par minute un volume d'air qui, ramené à $0°$ et $0^m,76$, occuperait $13^{mc},5$, et dont le poids serait de $17^k,55$.

D'autre part, les $2^k,85$ d'oxygène absorbés par minute par le fer correspondent à $12^k,34$ d'air, et si l'on y ajoutait celui de l'oxygène absorbé par les 2 à 5 kil. de graphite et de silicium, on arriverait à très-peu près au chiffre ci-dessus trouvé.

Il semblerait donc, d'après cela, que peu d'oxygène doit échapper à la combustion, et en effet, on comprendrait diffilement qu'il en fût autrement, lorsqu'à une température aussi élevée, la fonte est sillonnée par une série de jets d'air aussi exigus.

Passons à l'affinage en lui-même et voyons par quelles réactions la fonte peut se trouver affinée en si peu de temps.

Causes de la rapidité de l'affinage.

Il y a d'abord l'absence du charbon qui, précisément dans l'affinage ordinaire, au bas foyer, contrebalance sans cesse l'action oxydante de l'air et des scories. Il y a ensuite la température si élevée et le mélange si intime de l'air et de la fonte, qui évidemment doivent oxyder bien plus rapidement et plus uniformément que le brassage imparfait du puddleur sur la sole

du réverbère. Dans ce dernier cas, pour que la scorie puisse se mélanger avec la fonte et réagir sur elle, il faut que celle-ci ne soit qu'à demi fluide, et par suite à une température relativement peu élevée; tandis que, dans l'appareil Bessemer, le mouvement tumultueux, communiqué au métal par les 25 jets de vent, mêlent sans cesse la scorie et la fonte malgré leur fluidité extrême et leur différence de densité. Les réactions sont par suite, dans ce dernier cas, plus vives et plus énergiques.

Supposons maintenant une fonte sans soufre ni phosphore. Le fer est oxydé par l'air, et avec lui, soit directement, soit surtout *indirectement* (1), le silicium et le carbone, mais d'abord de préférence le premier, à cause de l'affinité de la silice pour l'oxyde de fer.

L'oxyde de fer en excès attaque d'ailleurs énergiquement les parois de la cornue et forme ainsi, par ce double fait, un silicate basique de fer et d'alumine. Lorsque le silicium est oxydé, le carbone disparaît à son tour, par la réaction de la scorie basique, comme dans le puddlage pour acier, et le produit sera ainsi ramené, selon la durée de l'opération, à du fer plus ou moins carburé. Ce sera de l'acier dur, de l'acier doux, du fer aciéreux, ou même du fer doux. Quelques minutes de plus ou de moins suffisent pour cela; car la décarburation est encore plus rapide que dans le puddlage pour acier.

Lorsque les fontes renferment du manganèse, celui-ci s'oxyde en partie directement comme le fer, mais surtout indirectement par l'oxyde de fer. L'oxyde de

(1) Voir la notice sur le puddlage pour acier (*Annales des mines*, 5e série, tome XV, page 291.

manganèse, comme base forte, hâtera d'ailleurs le départ du silicium. Les fontes très-siliceuses seront donc plus faciles à affiner si elles renferment en même temps du manganèse. Mais la présence de ce métal n'est pas indispensable dans la méthode Bessemer, comme le prouvent les résultats obtenus avec les fontes du Cumberland, provenant des hématites rouges qui renferment en général très-peu de manganèse.

Le phosphore n'est pas éliminé dans la méthode nouvelle, et le manganèse même ne paraît pas faciliter son départ, puisque les fontes anglaises des minerais houillers, qui toutes sont phosphoreuses et riches en manganèse, ont donné constamment de mauvais résultats.

Le phosphore ne pourrait être expulsé que sous forme de phosphate de fer ou de manganèse; or le phosphate de fer est ramené à l'état de phosphure par le fer métallique (1), et il en est de même, très-probablement, du phosphate de manganèse. Dans les fineries, les foyers de forge et les fours de puddlage, une partie du phosphore passe dans les scories, parce que le contact entre ces dernières et le fer est moins intime et la chaleur moins intense; mais lorsque le fer lui-même est fondu et sans cesse mêlé à la scorie par le vent, il doit nécessairement réagir très-énergiquement sur le phosphate momentanément formé. La haute température doit d'ailleurs plutôt diminuer qu'exalter l'affinité de l'acide phosphorique pour l'oxyde de fer.

Ainsi, dans l'état actuel du procédé, à moins d'un réactif spécial très-énergique, il semble difficile que les fontes phosphoreuses, même manganifères, puissent être traitées par le procédé Bessemer.

---

(1) Page 100 du mémoire ci-dessus cité sur l'acier puddlé.

Le soufre n'est pas facile à séparer non plus. On sait que le sulfure de fer n'est pas décomposé par le protoxyde, et encore moins par le silicate de fer. Sous l'influence directe de l'air, une partie du soufre doit s'échapper, très-probablement, à l'état d'acide sulfureux ; mais ce gaz lui-même est aussi décomposé par le fer; en sorte qu'en réalité l'expulsion du soufre est fort imparfaite. A cause de la haute température et du mélange intime des matières, il en est du soufre comme du phosphore ; son départ est certainement plus difficile dans l'appareil Bessemer que dans les bas foyers et les fours de puddlage.

Les scories de forge renferment presque toujours du soufre, et ce soufre ne peut guère s'y trouver que sous forme d'oxysulfures ou de sulfo-silicates.

Mais les oxysulfures sont des composés peu stables et à une haute température ils doivent, ce me semble, se partager entre le silicate et le métal ; et quant au sulfo-silicate ou sulfure double de fer et de silicium (1), il doit résister difficilement à la double influence du fer et du vent; il se produit du silicate ordinaire, et le soufre doit de nouveau s'unir au fer. Ainsi, à part la faible proportion qui peut s'échapper sous forme d'acide sulfureux ou de sulfure de silicium, il semble que cet élément tend plutôt à se concentrer dans le métal.

Pourtant le soufre est moins nuisible que le phosphore, puisqu'on peut obtenir de bon fer et de bon acier avec des fontes au coke; de plus, comme les fontes, provenant des fers spathiques et des fers oxydulés qui sont toujours mélangés de pyrites, donnent néan-

(1) On sait qu'il se dégage du sulfure de silicium de beaucoup de fontes au moment de la coulée.

moins de fort bon acier, il est probable que le manganèse joue ici le rôle de correctif, par son affinité bien connue pour le soufre, affinité qui doit se manifester non-seulement au haut-fourneau, mais encore dans le travail de l'affinage (1).

Ainsi, en résumé, ce sont surtout les fontes phosphoreuses qui paraissent rebelles au procédé Bessemer; mais, à part ce cas et celui de certaines fontes trop sulfureuses, il paraît aujourd'hui certain que la nouvelle méthode d'affinage, convenablement appliquée, peut donner de fort bons produits, même en traitant des fontes au coke. Pourtant il est bien évident que, toutes choses égales d'ailleurs, les fontes au bois doivent mériter la préférence; aussi ne saurions-nous assez engager nos maîtres de forges de Franche-Comté, du Berry et du Périgord à essayer la méthode nouvelle. Les fontes de ces districts donneraient certainement des produits supérieurs aux aciers des meilleures fontes au coke du Cumberland.

P. S. M. Tunner a publié, dans le *Jahrbuch* de Léoben, d'après les *Annales suédoises* du *Iern Kontoret*, le compte rendu des essais exécutés en Suède, dans l'usine d'Edsken, jusqu'en juin 1859.

Jusqu'à cette date, on s'était servi exclusivement de l'ancien fourneau fixe, à un petit nombre de tuyères latérales de $0^m,015$ à $0^m,02$ de diamètre, disposition évidemment moins favorable que celle adoptée aujourd'hui.

(1) Mémoire sur l'acier puddlé, pages 301 et 303.

Malgré cela, les résultats obtenus en Suède s'accordent avec ceux rapportés ci-dessus.

Pour avoir un acier suffisamment fluide, il faut un vent fortement comprimé. Les charges variaient de 800 à 1.000 kil. Le déchet pour acier en lingots était de 12 à 14 p. 100; la durée de l'opération de 7 à 10 minutes. Des additions de minerais riches et manganésifères, pour faciliter la décarburation, ont paru plus nuisibles qu'utiles.

L'air chaud a retardé l'opération et développé une température moins concentrée, à cause du poids moindre d'oxygène fourni à la fonte dans l'unité de temps.

L'acier obtenu peut se comparer à l'acier fondu ordinaire; et, en résumé, on considérait, dès cette époque, la méthode Bessemer comme passée de la période des essais à celle de son application industrielle, au moins quant à l'acier proprement dit, car on paraît s'être peu préoccupé de l'affinage pour fer.

THÉORIE

DU RÉGULATEUR DUVOIR.

Par M. HATON DE LA GOUPILLIÈRE,
Ingénieur des mines.

1. La force centrifuge a déjà été employée plusieurs fois comme moyen de régularisation dans les machines. Il suffit de citer le pendule conique d'Huyghens dans sa disposition ordinaire ou avec les tiges renversées de Farcot et le régulateur de Flaud analogue au tachomètre. Je me propose ici d'étudier une nouvelle disposition, due à M. Duvoir, constructeur à Liancourt.

Le régulateur consiste essentiellement en un anneau de fer forgé susceptible de jouer autour d'un de ses diamètres qui est assemblé à angle droit sur un arbre de la machine, ordinairement horizontal. Il est clair que le moindre mouvement de rotation de cet arbre développerait, pour employer le langage ordinaire, une force centrifuge en raison de laquelle le plan de l'anneau viendrait se placer perpendiculairement à l'axe. Mais la charnière manœuvre dans l'intérieur de l'arbre, qui est renflé à cet effet, un secteur et une crémaillère; et celle-ci, qui sollicite d'un côté le mécanisme de régularisation (valve, soupape, etc.), est attelée en même temps à un ressort à boudin, amarré lui-même à un point fixe. Il s'établit donc un antagonisme entre la force centrifuge variable avec l'état d'inclinaison de l'anneau et la force élastique variable elle-même avec l'état d'extension du ressort. De là une relation entre

la vitesse de rotation et le degré d'ouverture des soupapes, c'est-à-dire un moyen de régulation.

Telle est en peu de mots la disposition de l'appareil que je me propose d'envisager ici. Son étude me paraît présenter de l'intérêt, même à un point de vue exclusivement théorique; car elle offre un des exemples, trop rares dans la mécanique appliquée, où la question peut être traitée en rigueur, et sans qu'on soit obligé de recourir à des approximations plus ou moins satisfaisantes. J'ai dû pour cela introduire l'emploi des fonctions elliptiques, mais j'ai eu soin de disposer les calculs de manière qu'il ne soit pas nécessaire d'être familiarisé avec cette partie de l'analyse pour parcourir ce travail d'un bout à l'autre, et acquérir la démonstration des propriétés fort curieuses de l'organe qui en est l'objet.

2. La question principale consiste à trouver l'angle sous lequel se placera le plan de l'anneau pour une vitesse angulaire constante ω. Si nous le rapportons à un système d'axes animé lui-même de cette vitesse, il se trouvera en repos relatif; et par suite les conditions d'équilibre devront avoir lieu entre les forces réelles et les forces d'inertie du mouvement d'entraînement, c'est-à-dire les forces centrifuges. Or l'anneau est un corps solide qui, par rapport au système mobile, ne peut prendre qu'un mouvement de rotation autour de sa charnière. L'équilibre s'exprimera par suite en égalant à zéro la somme des travaux virtuels pour ce seul mouvement compatible avec les liaisons, c'est-à-dire la somme des moments pris par rapport à la charnière. Il nous faut donc en premier lieu évaluer la somme des moments des forces centrifuges.

3. Je réduirai d'abord l'anneau à une simple circon-

férence matérielle de rayon ρ et de masse m. Je prendrai pour plan de la figure celui qui serait mené par l'axe de la rotation perpendiculairement sur celui de l'anneau. Ce dernier se projettera en entier sur son diamètre AB, et la charnière sur le point C (Pl. VII, *fig.* 75). J'ai rabattu pour plus de clarté le plan de l'anneau, et marqué par des lignes ponctuées tout ce qui s'y trouve tracé.

Considérons un élément MM'. La force centrifuge qui le sollicite sera dirigée suivant la perpendiculaire MQ abaissée de M sur l'axe XY, et celle-ci pourra s'obtenir en projetant d'abord M en P sur le plan du tableau, puis P en Q dans ce même plan et joignant MQ. Cette force aura pour valeur le produit de la masse élémentaire $m.\frac{d\alpha}{2\pi}$ par le carré ω^2 de la vitesse angulaire et par le rayon de rotation MQ. Pour prendre son moment par rapport à la charnière il faut d'abord la projeter sur le plan perpendiculaire, qui est celui du tableau. Pour cela il suffit d'y projeter le facteur linéaire MQ, ce qui le remplace par PQ. Il faut ensuite multiplier par le bras de levier CQ de cette projection. Il vient ainsi :

$$m.\frac{d\alpha}{2\pi}.\omega^2.\overline{PQ}.\overline{CQ}=\frac{m\omega^2 d\alpha}{2\pi}.\overline{CP}\sin\beta.\overline{CP}\cos\beta=$$

$$=\frac{m\omega^2\sin 2\beta\, d\alpha}{4\pi}.\overline{CP}^2=\frac{m\omega^2\sin 2\beta\, d\alpha}{4\pi}.\rho^2\cos^2\alpha.$$

On aura, par suite, pour la somme des moments :

$$\frac{m\omega^2\rho^2\sin 2\beta}{4\pi}\int_0^{2\pi}\cos^2\alpha d\alpha=\frac{m\omega^2\rho^2\sin 2\beta}{4\pi}\left(\frac{\alpha+\sin\alpha\cos\alpha}{2}\right)_0^{2\pi}=$$

$$=\frac{m\omega^2\rho^2\sin 2\beta}{4}. \qquad (1)$$

4. Il nous faut maintenant étendre ce résultat à un tore de dimensions finies. Nous désignerons par r le rayon du cercle générateur, et R celui du cercle que décrit son centre. Nous décomposerons la section méridienne en une infinité d'éléments superficiels au moyen d'une série de cercles concentriques de rayon variable ρ décrits autour du centre C du tore (Pl. VII, *fig.* 76), et de droites divergentes menées par ce point sous l'angle variable β. Le tore sera par là décomposé en anneaux élémentaires placés dans les conditions du paragraphe précédent.

L'élément superficiel peut être assimilé à un rectangle dont les côtés seraient $\rho d\beta$ et $d\rho$ et la surface $\rho d\rho d\beta$. Il engendre un anneau dont le volume est le produit de la surface $d\ d\beta$ par la circonférence $2\pi\rho$ que décrit son centre de gravité, c'est-à-dire $2\pi\rho^2 d\rho d\beta$. Sa masse sera donc $2\pi\mu\rho^2 d\rho d\beta$, si μ désigne la masse de l'unité de volume, qu'il ne faut pas confondre avec la densité tabulaire. D'après cela, le moment des forces centrifuges sera pour cet anneau (1) :

$$2\pi\mu\rho^2 d\rho d\beta \cdot \frac{\omega^2\rho^2 \sin 2\beta}{4} = \frac{\pi\mu\omega^2\rho^4 \sin 2\beta d\rho d\beta}{2}.$$

On aura donc pour le tore entier

$$\frac{\pi\mu\omega^2}{2}\int_{R-r}^{R+r}\rho^4 d\rho\int_{\varphi-\gamma}^{\varphi+\gamma}\sin 2\beta d\beta,$$

en groupant par une première intégration tous les éléments compris dans une tranche circulaire de rayon ρ, limitée aux angles γ comptés de part et d'autre de l'inclinaison moyenne φ; puis réunissant par une seconde intégration toutes les tranches qui composent le corps.

La première intégrale s'effectue facilement.

$$\int_{\varphi-\gamma}^{\varphi+\gamma} \sin 2\beta d\beta = \left(-\frac{\cos 2\beta}{2}\right)_{\varphi-\gamma}^{\varphi+\gamma} =$$

$$= -\frac{1}{2}[\cos 2(\varphi+\gamma) - \cos 2(\varphi-\gamma)] = \sin 2\varphi \sin 2\gamma.$$

Le facteur $\sin 2\varphi$ peut sortir de la seconde intégrale, car il est constant; mais il n'en est pas de même de $\sin 2\gamma$. C'est une fonction de ρ qu'il va falloir déterminer. L'expression du moment devient par là

$$\frac{\pi\mu\omega^2 \sin 2\varphi}{2}\int_{R-r}^{R+r} \rho^4 \sin 2\gamma d\rho.$$

On peut reconnaître dès à présent qu'il a conservé la même forme (1) que pour l'anneau élémentaire; mais il est encore nécessaire de déterminer l'intégrale définie qui figure dans le coefficient.

5. Il faut d'abord exprimer γ en fonction de ρ. On a pour cela dans le triangle ONC (Pl. VII, *fig.* 76) :

$$r^2 = \rho^2 + R^2 - 2\rho R \cos\gamma,$$

$$\cos\gamma = \frac{\rho^2 + R^2 - r^2}{2\rho R}.$$

On en déduit :

$$\sin\gamma = \sqrt{1 - \left(\frac{\rho^2 + R^2 - r^2}{2\rho R}\right)^2} =$$

$$= \frac{\sqrt{4\rho^2 R^2 - (\rho^2 + R^2 - r^2)^2}}{2\rho R}.$$

Or on a identiquement :

$$4\rho^2 R^2 - (\rho^2 + R^2 - r^2)^2 =$$
$$= [2\rho R + (\rho^2 + R^2 - r^2)][2\rho R - (\rho^2 + R^2 - r^2)] =$$
$$= [(\rho^2 + 2\rho R + R^2) - r^2][r^2 - (\rho^2 - 2\rho R + R^2)] =$$
$$= [(\rho + R)^2 - r^2][r^2 - (\rho - R)^2] =$$

$$=[(\rho+R)+r][(\rho+R)-r][r+(\rho-R)][r-(\rho-R)]=$$
$$=[\rho+(R+r)][\rho+(R-r)][\rho-(R-r)][(R+r)-\rho]=$$
$$=[\rho^2-(R-r)^2][(R+r)^2-\rho^2].$$

Nous désignerons pour abréger par R′ et R″ les rayons extérieur et intérieur du tore :

$$R'=R+r, \quad R''=R-r. \qquad (2)$$

Il vient d'après cela :

$$\sin\gamma=\frac{\sqrt{(\rho^2-R''^2)(R'^2-\rho^2)}}{2\rho R},$$

et enfin :

$$\sin 2\gamma=2\sin\gamma\cos\gamma=\frac{(\rho^2+R'R'')\sqrt{(\rho^2-R''^2)(R'^2-\rho^2)}}{2\rho^2R^2}.$$

L'expression du moment devient par là :

$$\frac{\pi\mu\omega^2\sin 2\varphi}{4R^2}\int_{R''}^{R'}\rho^2(\rho^2+R'R'')\sqrt{(\rho^2-R''^2)(R'^2-\rho^2)}\,d\rho. \qquad (3)$$

et il ne reste plus qu'à évaluer cette intégrale.

6. Cette quadrature ne saurait s'effectuer avec les ressources ordinaires de l'analyse. On ne peut que la réduire aux fonctions elliptiques de première et de seconde espèce. Je vais développer ce calcul et ramener l'expression à une forme explicite. On remarquera, du reste, qu'il ne s'agit ici que de l'évaluation exacte d'un coefficient, que l'on peut dans tous les cas supposer obtenu par la formule de quadratures approximatives de Simpson, et dont la valeur numérique est d'ailleurs sans influence sur les résultats de la discussion à laquelle nous soumettrons l'équation d'équilibre pour en déduire les propriétés de cet organe (§§ 12 et suivants).

7. L'intégrale que je désignerai par G peut se transformer de la manière suivante :

$$G = \int_{R''}^{R'} \rho^2(\rho^2 + R'R'')\sqrt{(\rho^2 - R''^2)(R'^2 - \rho^2)}\,d\rho$$

$$= \int_{R''}^{R'} \frac{\rho^2(\rho^2 + R'R'')(\rho^2 - R''^2)(R'^2 - \rho^2)}{\sqrt{(\rho^2 - R''^2)(R'^2 - \rho^2)}}\,d\rho$$

$$= \int_{R''}^{R'} \frac{-\rho^8 + (R'^2 + R''^2 - R'R'')\rho^6 + R'R''(R'^2 + R''^2 - R'R'')\rho^4 - R'^2R''^2\rho^2}{\sqrt{(\rho^2 - R''^2)(R'^2 - \rho^2)}}\,d\rho$$

$$= \int_{R''}^{R'} \frac{-\rho^8 + (A - B)\rho^6 + B(A - B)\rho^4 - B^2\rho^2}{\sqrt{(\rho^2 - R''^2)(R'^2 - \rho^2)}}\,d\rho.$$

en posant pour abréger

$$A = R'^2 + R''^2, \quad B = R'R''. \qquad (4)$$

Si donc on fait encore :

$$f(n) = \int_{R''}^{R'} \frac{\rho^n d\rho}{\sqrt{(\rho^2 - R''^2)(R'^2 - \rho^2)}},$$

on aura :

$$G = -f(8) + (A - B)f(6) + B(A - B)f(4) - B^2 f(2). \qquad (5)$$

Il suffit, par suite, de trouver $f(n)$, et seulement pour le cas où n est un nombre entier et pair (*).

8. Or $f(n)$ est immédiatement connu pour les deux valeurs $n = 0$ et $n = 2$. On a en effet

$$f(0) = \int_{R''}^{R'} \frac{d\rho}{\sqrt{(\rho^2 - R''^2)(R'^2 - \rho^2)}} =$$

$$= \frac{1}{R'} \int_{R''}^{R'} \frac{d\,\frac{\rho}{R''}}{\sqrt{\left(\frac{\rho^2}{R''^2} - 1\right)\left(1 - \frac{R''^2}{R'^2}\frac{\rho^2}{R''^2}\right)}}.$$

(*) Le cas d'un nombre impair serait encore plus facile, car il permettrait d'intégrer complétement par logarithmes; mais ce n'est pas celui qui nous importe ici.

Si donc on fait :

$$k = \frac{R''}{R'} < 1, \quad \lambda = \frac{\rho}{R''};$$

ce qui transforme ainsi les limites :

$$\begin{cases} \rho = R'' \\ \lambda = 1 \end{cases} \qquad \begin{cases} \rho = R' \\ \lambda = \frac{1}{k}. \end{cases}$$

il viendra :

$$f(0) = \frac{1}{R'} \int_1^{\frac{1}{k}} \frac{d\lambda}{\sqrt{(\lambda^2 - 1)(1 - k^2\lambda^2)}}. \qquad (6)$$

Cette quadrature est celle que Legendre appelle *intégrale elliptique de première espèce pour le module* **k**. C'est aussi celle que Jacobi représente par K', M. Lamé par ϖ_1, MM. Briot et Bouquet par $\frac{\omega'}{2\sqrt{-1}}$. Nous la désignerons par $\Phi(k)$.

On a de même

$$f(2) = \int_{R''}^{R'} \frac{\rho^2 d\rho}{\sqrt{(\rho^2 - R''^2)(R'^2 - \rho^2)}} =$$

$$= \frac{R''^2}{R'} \int_{R''}^{R'} \frac{\frac{\rho^2}{R''^2} d \frac{\rho}{R''}}{\sqrt{\left(\frac{\rho^2}{R''^2} - 1\right)\left(1 - \frac{R''^2}{R'^2}\frac{\rho^2}{R''^2}\right)}} =$$

$$= \frac{R''^2}{R'} \int_1^{\frac{1}{k}} \frac{\lambda^2 d\lambda}{\sqrt{(\lambda^2 - 1)(1 - k^2\lambda^2)}}. \qquad (7)$$

Cette quadrature se réduit à celle que Legendre appelle *intégrale elliptique de seconde espèce*. Nous la représenterons par $\Psi(k)$.

Il nous suffira donc de ramener l'évaluation de $f(4)$, $f(6)$, $f(8)$ à celles de $f(0)$ et $f(2)$. C'est ce qu'on peut faire pour un nombre entier pair quelconque.

9. On a identiquement :

$$\int \frac{\rho^n d\rho}{\sqrt{(\rho^2 - R''^2)(R'^2 - \rho^2)}} = \int \frac{\rho^n d\rho}{\sqrt{-\rho^4 + A\rho^2 - B}} =$$

$$= -\frac{1}{2}\int \frac{-4\rho^3 + 2A\rho}{2\sqrt{-\rho^4 + A\rho^2 - B^2}} \cdot \rho^{n-3} d\rho +$$

$$+ \frac{A}{2}\int \frac{\rho^{n-2} d\rho}{\sqrt{-\rho^4 + A\rho^2 - B^2}}.$$

Or le premier terme donne en l'intégrant par parties :

$$\int \frac{-4\rho^3 + 2A\rho}{2\sqrt{-\rho^4 + A\rho^2 - B^2}} \rho^{n-3} d\rho = \int \rho^{n-3} d\sqrt{-\rho^4 + A\rho^2 - B^2} =$$

$$= \rho^{n-3}\sqrt{-\rho^4 + A\rho^2 - B^2} - (n-3)\int \rho^{n-4}\sqrt{-\rho^4 + A\rho^2 - B^2}\, d\rho.$$

Si l'on prend l'intégrale entre les limites R′ et R″, la partie explicite disparaît, car ces deux valeurs sont précisément les racines du trinome placé sous le radical. On peut écrire simplement :

$$\int_{R''}^{R'} \frac{-4\rho^3 + 2A\rho}{2\sqrt{-\rho^4 + A\rho^2 - B^2}} \rho^{n-3} d\rho =$$

$$= -(n-3)\int_{R''}^{R'} \frac{\rho^{n-4}(-\rho^4 + A\rho^2 - B^2)}{\sqrt{-\rho^4 + A\rho^2 - B^2}} d\rho =$$

$$= (n-3) \cdot f(n) - (n-3)A \cdot f(n-2) + (n-3)B^2 \cdot f(n-4),$$

et en reportant dans la première équation prise dans les mêmes limites :

$$f(n) = -\frac{n-3}{2} \cdot f(n) + \frac{n-3}{2} A f(n-2) - \frac{n-3}{2} B^2 f(n-4) +$$

$$+ \frac{A}{2} f(n-2).$$

d'où l'on tire :

$$f(n) = \frac{n-2}{n-1} \cdot A \cdot f(n-2) - \frac{n-3}{n-1} \cdot B^2 \cdot f(n-4).$$

Cette formule permettra d'abaisser successivement l'exposant n de deux unités, et par suite de réduire finalement l'évaluation de $f(n)$, lorsque n est pair, à celles de $f(0)$ et $f(2)$.

10. On trouve par ce moyen pour les trois valeurs qu'il nous importe de connaître :

$$f(4) = \frac{2}{3} A . f(2) - \frac{1}{3} B^2 . f(0)$$

$$f(6) = \frac{1}{15} (8A^2 - 9B^2) . f(2) - \frac{4}{15} AB^2 . f(0)$$

$$f(8) = \frac{1}{105} (48 A^3 - 104 AB^2) . f(2) -$$
$$- \frac{1}{105} (24 A^2 B^2 - 25 B^4) . f(0).$$

et en substituant dans l'expression (5)

$$G = \frac{1}{105} \left\{ \begin{array}{l} (8A^3 + 14 A^2 B - 29 AB^2 - 42 B^3) . f(2) \\ - (4A^2 + 7AB - 10B^2) B^2 . f(0). \end{array} \right\}$$

Nous avons du reste (4)

$$A = R'^2 + R''^2 = (R+r)^2 + (R-r)^2 = 2(R^2 + r^2)$$
$$B = R'R'' = (R+r).(R-r) = R^2 - r^2,$$

et en outre (6 et 7)

$$f(0) = \frac{1}{R'} . \Phi(k) = \frac{1}{R+r} . \Phi\left(\frac{R-r}{R+r}\right)$$
$$f(2) = \frac{R''^2}{R'} . \Psi(k) = \frac{(R-r)^2}{(R+r)} . \Psi\left(\frac{R-r}{R+r}\right).$$

Il vient donc, tout calcul fait :

$$G = \frac{4}{105} . \frac{(R-r)^2}{R+r} \left\{ \begin{array}{l} (5R^6 + 108 R^4 r^2 + 17 R^2 r^4 - 2r^6) . \Psi\left(\frac{R-r}{R+r}\right) \\ -(R+r)^2 (5R^4 + 10 R^2 r^2 - 2r^4) . \Phi\left(\frac{R-r}{R+r}\right) \end{array} \right\}.$$

Pour faire subir une dernière transformation à cette

intégrale, nous introduirons le rapport des deux rayons

$$h = \frac{r}{R}, \qquad (8)$$

qui à lui seul caractérise la similitude des formes dans les tores. L'expression de G étant du septième degré, nous la représenterons ainsi :

$$G = HR^7,$$

en désignant par H la fonction suivante qui ne renferme que h et d'une manière parfaitement déterminée :

$$H = \frac{4}{105} \cdot \frac{(1-h)^2}{1+h} \left\{ \begin{array}{l} (5+108.h^2+17.h^4-2.h^6).\Psi\left(\frac{1-h}{1+h}\right) \\ -(1+h)^2.(5+10.h^2-2.h^4).\Phi\left(\frac{1-h}{1+h}\right) \end{array} \right\}. \qquad (9)$$

11. D'après cela l'expression (3) du moment des forces centrifuges devient

$$\frac{\pi\mu}{105}\omega^2 R^8 \sin 2\varphi . \frac{(1-h)^2}{1+h} \left\{ \begin{array}{l} (5+108.h^2+17.h^4-2.h^6).\Psi\left(\frac{1-h}{1+h}\right) \\ -(1+h)^2.(5+10.h^2-2.h^4).\Phi\left(\frac{1-h}{1+h}\right) \end{array} \right\},$$

ou en conservant l'abréviation H :

$$\frac{1}{4}\pi\mu H \omega^2 R^8 \sin 2\varphi.$$

Ce moment s'annule pour $\varphi = 0$ et $\varphi = \frac{\pi}{2}$, c'est-à-dire quand l'anneau est couché sur l'axe ou lorsqu'il se met à angle droit. Il atteint son maximum pour la position moyenne de 45°. Pour la facilité des calculs nous désignerons par K ce moment maximum lorsque la vitesse angulaire est égale à l'unité

$$K = \frac{1}{4}\pi\mu H R^8. \qquad (10)$$

De cette manière le moment sera représenté pour un

angle et une vitesse quelconques par

$$K\omega^2 \sin 2\varphi.$$

12. Il est maintenant facile de former l'équation d'équilibre relatif, c'est-à-dire (§ 2) celle des moments relatifs à la charnière. Ces moments sont au nombre de deux seulement, à savoir celui des forces centrifuges et celui de la tension élastique du ressort; car la pesanteur n'intervient pas, puisque le corps est centré.

Désignons par e la tension rapportée à l'unité d'allongement du ressort. (Il ne faut pas la confondre avec le coefficient E d'élasticité de la substance.) Soit a le rayon du cercle primitif du secteur, $ad\varphi$ sera l'allongement élémentaire qui résulte de la rotation $d\varphi$. L'allongement total sera donc $a(\varphi+\theta)$, si $a\theta$ désigne l'état initial d'extension du ressort quand l'anneau est couché sur l'axe. La force élastique sera par suite $ea(\varphi+\theta)$, et son moment par rapport à la charnière $ea^2(\varphi+\theta)$.

L'équation d'équilibre sera dès lors :

$$ea^2(\varphi+\theta) - K\omega^2 \sin 2\varphi = 0.$$

Si on l'écrit de cette manière :

$$2\varphi - \frac{2K\omega^2}{ea^2} \sin 2\varphi + 2\theta = 0,$$

et qu'on l'envisage par rapport à l'inconnue 2φ, on y reconnaît une équation transcendante à laquelle sont habitués les astronomes, et qui sert à assigner la position d'une planète dans son orbite elliptique à une époque donnée. Cette formule pourra donc être facilement résolue en nombres dans chaque cas particulier. Mais ici nous l'envisagerons d'une manière générale, et nous allons chercher à déduire de sa discussion la manière d'être de l'appareil.

13. L'équation est sous sa forme la plus simple

$$\varphi - \frac{K\omega^2}{ea^2}\sin 2\varphi + \theta = 0. \qquad (11)$$

Elle détermine à l'aide de l'angle φ la position de l'anneau pour chaque vitesse angulaire ω. Pour l'étudier nous représenterons par $f(\varphi)$ son premier membre

$$f(\varphi) = \varphi - \frac{K\omega^2}{ea^2}\sin 2\varphi + \theta$$

$$f'(\varphi) = 1 - \frac{2K\omega^2}{ea^2}\cos 2\varphi \qquad (12)$$

$$f''(\varphi) = \frac{4K\omega^2}{ea^2}\sin 2\varphi.$$

Dans la question actuelle φ ne doit pas être considéré comme une variable absolument indépendante, mais comme nécessairement compris entre o et $\frac{\pi}{2}$. Pour ces deux limites, on a, quel que soit ω :

$$f(0) = \theta, \quad f\left(\frac{\pi}{2}\right) = \theta + \frac{\pi}{2},$$

c'est-à-dire deux résultats positifs.

Si ω commence par recevoir de très-faibles valeurs, $f'(\varphi)$ restera toujours positive (12), $f(\varphi)$ sera donc continuellement croissante entre ses deux limites, et comme la première est positive, elle ne s'annulera pas dans cet intervalle. Ainsi pour les petites vitesses l'équation n'a pas de racines admissibles, et l'équilibre est impossible dans les conditions qu'elle exprime, c'est-à-dire que l'anneau restera couché sur l'axe qui lui sert d'arrêt et introduit une force nouvelle en raison de laquelle l'équation se trouve satisfaite.

Il est donc nécessaire que la vitesse angulaire acquière une certaine valeur pour démarrer l'anneau

et donner des racines à l'équation (11). Pour que $f(\varphi)$ varie entre ses deux limites toujours positives, de manière à passer par zéro, et par suite généralement par des valeurs négatives, il faut, comme elle ne peut devenir infinie, qu'elle ait un minimum dans l'intervalle considéré, et qu'il soit négatif. Or l'azimut φ' de ce minimum sera donné par l'équation dérivée (12) :

$$f'(\varphi') = 1 - \frac{2K\omega^2}{ea^2}\cos 2\varphi' = 0$$

$$\cos 2\varphi' = \frac{ea^2}{2K\omega^2}. \qquad (13)$$

Pour qu'il soit réel, on doit avoir

$$\frac{ea^2}{2K\omega^2} \overline{\underline{<}} 1,$$

c'est-à-dire

$$\omega \overline{\underline{>}} \omega_0,$$

en posant

$$\frac{ea^2}{2K\omega_0^2} = 1,$$

$$\omega_0 = a\sqrt{\frac{e}{2K}}, \qquad (14)$$

On obtiendra alors une valeur unique φ' dans le premier quadrant, et elle correspondra bien à un minimum, car $f''(\varphi')$ est évidemment positive (12).

Si ce minimum est positif, il n'y aura pas encore de racines; s'il est négatif, il y en aura deux, puisque ce minimum est unique et que la fonction redevient ensuite positive vers la fin du quadrant; s'il est nul, les deux racines se confondront en une seule. C'est donc là le cas limite qu'il faut considérer pour obtenir la condition que doit encore remplir ω. Or ce minimum, ou plutôt le double, peut être écrit de la manière suivante, en substituant à $\frac{ea^2}{2K\omega^2}$ sa valeur $\cos 2\varphi'$ (13)

$$2f(\varphi') = 2\varphi' - \tang 2\varphi' + 2\theta = F(\varphi').$$

Je le représente par $F(\varphi')$, en l'envisageant comme une fonction de φ', considéré à son tour comme une variable.

Cette expression peut toujours être annulée par une valeur φ'' de φ' comprise entre zéro et 45°. On a en effet

$$F(0) = 2\theta > 0, \quad F\left(\frac{\pi}{4}\right) = -\infty < 0,$$

et par suite une valeur nulle $F(\varphi'')$ dans l'intervalle; car la fonction ne passe pas par l'infini entre ces limites. Son azimut sera fourni par la relation

$$2\varphi'' - \tang 2\varphi'' + 2\theta = 0. \qquad (15)$$

Cette seconde équation transcendante est également connue des géomètres. On la rencontre, au moins pour un cas particulier, dans la théorie de la chaleur et dans celle de l'élasticité. Elle se distingue par la rapidité avec laquelle on obtient numériquement ses racines.

Il y a donc toujours moyen d'annuler le minimum dans la première moitié du quadrant.

Pour le rendre négatif, remarquons que, puisque

$$\frac{1}{2} F'(\varphi') = 1 - \frac{1}{\cos^2 2\varphi'},$$

sa dérivée est négative, $F(\varphi')$ est continuellement décroissant, et par suite devient négatif lorsque φ' croît au delà de la valeur φ'' qui l'annule. Il faut donc que l'on ait :

$$\varphi' > \varphi'', \quad \cos 2\varphi' < \cos 2\varphi'', \quad \omega > \omega_1,$$

en posant (13) :

$$\cos 2\varphi'' = \frac{ea^2}{2K\omega_1^2}$$

$$\omega_1 = a\sqrt{\frac{e}{2K\cos 2\varphi''}}. \qquad (16)$$

Or cette condition renferme *à fortiori* celle que nous avons trouvée en premier lieu (14); il suffit par conséquent de la conserver seule.

14. Voici donc comment les choses se passent. Si l'on suppose d'abord une vitesse infinie, l'équation (11) exige qu'on ait $\sin 2\varphi = 0$, c'est-à-dire que l'anneau soit couché sur l'axe ou à angle droit sur sa direction. Si la vitesse diminue successivement tout en restant supérieure à la limite ω_1, les deux positions d'équilibre se détachent peu à peu de ces extrêmes et vont en se rapprochant. Elles se rejoignent sous l'angle φ'' toujours compris dans la première moitié du quadrant lorsque la vitesse se réduit à ω_1. Au-dessous, l'équilibre n'est plus possible et l'anneau retombe sur l'axe, qu'il ne quitte plus jusqu'à ce que la vitesse s'annule.

15. Ces deux situations d'équilibre ne sont pas du reste placées dans les mêmes conditions. La position inférieure est toujours instable et la portion supérieure toujours stable. La dernière sera donc seule réalisable par l'expérience.

Considérons en effet la position rapprochée de l'axe, et supposons qu'on en écarte l'anneau de l'angle $d\varphi$. Si l'accroissement du moment de la force élastique l'emporte sur celui du moment de la force centrifuge, cet excédant tendra à rapprocher l'anneau de sa première position, et l'équilibre sera stable. Sinon il aura pour effet de l'en écarter encore davantage, et il y aura instabilité. Or $f(\varphi)$ est précisément la différence de ces deux moments (12), $f'(\varphi)\,d\varphi$ sera donc celle de leurs accroissements, et par suite le signe positif ou négatif de $f'(\varphi)$ indiquera la stabilité ou l'instabilité.

Mais on a :

$$f'(\varphi) = 1 - \frac{2K\omega^2}{ea^2}\cos 2\varphi,$$

et en outre (16) :

$$\omega > \omega_1 > a\sqrt{\frac{e}{2K\cos 2\varphi''}}$$

$$\frac{2K\omega^2\cos 2\varphi''}{ea^2} > 1.$$

De plus, pour la position inférieure :

$$\varphi < \varphi'', \quad \cos 2\varphi > \cos 2\varphi'';$$

Donc, *à fortiori* :

$$\frac{2K\omega^2\cos 2\varphi}{ea^2} > 1,$$

et par suite $f'(\varphi)$ est négatif : ce qui démontre l'instabilité. On arriverait à la même conséquence en supposant qu'on rapproche légèrement l'anneau de l'axe.

Considérons maintenant la position supérieure et supposons-la d'abord comprise dans la seconde moitié du quadrant. Si l'on relève un peu l'anneau, le moment de la force centrifuge diminue, celui de la tension augmente ; la résultante ramènera donc le corps à la première position. Il en sera de même si l'on incline légèrement le corps vers l'axe.

Si la position supérieure est comprise entre φ'' et 45°, il est facile de voir qu'elle est encore stable. En effet, dans cette première moitié du quadrant, les choses se passent comme dans le premier cas, et le signe de $f'(\varphi)$ tranche à lui seul la question. Mais $f'(\varphi)$ que nous avons reconnu négatif au-dessous de φ'' s'annule pour $\varphi = \varphi''$ (16), car pour cet azimut la vitesse est égale à ω_1. Elle devient donc positive au-dessus, sans quoi il faudrait que $f''(\varphi'')$ fût nulle, ce qui n'a pas lieu (12). L'équilibre est par suite encore stable dans cette partie du quadrant.

16. Considérons en particulier le cas où le ressort

n'aurait aucune tension quand l'anneau est couché sur l'axe. Il suffit pour cela de supposer

$$\theta = 0.$$

Alors l'équation (15) devient :

$$2\varphi'' - \tang 2\varphi'' = 0.$$

Elle n'admet évidemment dans le premier quadrant que la racine $\varphi'' = 0.$

Ainsi, la position instable devient indépendante de la vitesse et passe continuellement par l'axe. La position stable peut alors osciller dans toute l'étendue du quadrant, et la limite inférieure que la vitesse doit atteindre pour cela se réduit à (14 et 16) :

$$\omega_1 = \omega_0 = \sqrt{\frac{e}{2K}}.$$

Au-dessous de cette vitesse, la position instable devient stable et l'anneau reste couché sur l'axe.

Je ne m'arrêterai pas à discuter le cas où θ serait négatif, ce que l'on se gardera bien d'éviter dans la construction.

17. Nous sommes actuellement fixés sur la position d'équilibre que prend l'anneau pour une vitesse constante. Mais il reste à apprécier son rôle comme régulateur, c'est-à-dire à étudier le mouvement relatif qu'il peut prendre lorsque la vitesse vient à croître et que la résistance du mécanisme de régulation entre en jeu. Il ne peut être question de trouver la loi de ce mouvement, puisqu'il faudrait pour cela connaître celle de la variation de la vitesse angulaire de l'arbre, laquelle est complétement abandonnée au hasard; mais on peut caractériser d'une manière très-simple la *puissance* et la *sensibilité* du régulateur.

Le mouvement relatif que prendra l'anneau si la vi-

tesse vient à s'accroître est une rotation autour de sa charnière. Il est donc régi par une équation unique qui exprime que la somme des moments est nulle par rapport à cette charnière : 1° pour les forces réelles, à savoir la résistance du ressort et celle du mécanisme de régulation, y compris les frottements ; 2° pour les forces d'inertie du mouvement relatif, en vertu du principe de d'Alembert ; 3° pour les forces apparentes d'après le théorème de Coriolis, à savoir les forces tangentielles d'inertie d'entraînement, les forces centrifuges et les forces centrifuges composées. Il est facile de s'assurer que ces dernières ont individuellement des moments nuls par rapport à la charnière (*) ; les premières sont opposées au mouvement d'écartement ; la seule puissance de l'anneau provient donc des forces centrifuges. Leur moment $K\omega^2 \sin 2\varphi$ doit ainsi équilibrer tous les autres, et comme ω et φ sont des éléments qui restent variables, c'est, à proprement parler, le coefficient K qui constitue l'énergie ou la puissance du régulateur, c'est-à-dire sa capacité pour vaincre des efforts plus ou moins grands.

Quant à son degré de sensibilité, ou à la promptitude avec laquelle l'anneau passera d'une position d'équilibre à la nouvelle quand la vitesse subira une variation brusque ; on peut le mesurer de la manière suivante. L'équation dont il vient d'être question exprime en d'autres termes que l'accélération angulaire $\frac{d\varphi}{dt}$ du mouvement de charnière est égale à la somme des mo-

(*) La force centrifuge composée est en effet perpendiculaire à la vitesse relative. Le mouvement relatif étant ici une rotation autour de la charnière, la vitesse relative est elle-même perpendiculaire au plan mené par la charnière et le point considéré. La force centrifuge composée est donc située dans ce plan, et, comme il contient la charnière, elle a un moment nul par rapport à cette droite.

ments des forces (qui ne sont plus à notre disposition) divisée par le moment d'inertie I relatif à la charnière. Le mouvement sera donc, toutes choses égales d'ailleurs, d'autant plus rapide que I sera plus petit, de sorte que le degré de sensibilité peut être mesuré par l'inverse du moment d'inertie. Il convient par suite de déterminer ce coefficient.

18. Pour trouver le moment d'inertie d'un tore par rapport à un de ses rayons équatoriaux, je le rapporterai à son axe de figure Z et à deux rayons rectangulaires X et Y (Pl. VII, *fig.* 77). En prenant le moment d'inertie par rapport à ce dernier, nous aurons :

$$I = \sum md^2 = \sum m(x^2 + z^2) = \sum mx^2 + \sum mz^2.$$

Or il est clair qu'en raison de la symétrie du corps autour de l'axe de figure les deux sommes $\sum mx^2$ et $\sum my^2$ ont la même valeur qui est aussi par conséquent celle de leur demi-somme :

$$\frac{1}{2}\sum m(x^2 + y^2) = \frac{1}{2}\sum m\delta^2,$$

δ étant la distance à l'axe de figure. On a donc encore :

$$I = \frac{1}{2}\sum m\delta^2 + \sum mz^2,$$

et il suffit d'évaluer successivement ces deux intégrales.

Pour trouver $\sum mz^2$, nous décomposerons le tore en tranches horizontales ayant pour épaisseur dz (Pl. VII, *fig.* 78). Chacune d'elles aura pour section verticale $2\xi dz$; le centre de gravité de cette dernière, se trouvant au milieu de la longueur, décrit un cercle avec le rayon R, et par suite le volume est

$$2\xi dz \,.\, 2\pi R = 4\pi R\xi dz,$$

et la masse

$$4\pi\mu R\xi dz.$$

On a donc

$$\sum mz^2 = \sum 4\pi\mu R\xi dz \,.\, z^2 = 4\pi\mu R \,.\, \sum \xi z^2 dz$$

ou sous la forme ordinaire :

$$\sum mz^2 = 4\pi\mu R \int_{-r}^{+r} z^2 \sqrt{r^2 - z^2}\, dz =$$

$$= 4\pi\mu R \int_{-r}^{+r} \frac{z^2 (r^2 - z^2)}{\sqrt{r^2 - z^2}}\, dz = 4\pi\mu [Rr^2 \,.\, f(2) - R \,.\, f(4)],$$

en faisant, pour abréger :

$$f(n) = \int_{-r}^{+r} \frac{z^n dz}{\sqrt{r^2 - z^2}}.$$

Pour trouver de même $\sum m\delta^2$, nous décomposerons le tore en couronnes cylindriques d'épaisseur $d\delta$ (Pl. VII, *fig.* 79). Chacune d'elle saura pour section verticale $2zd\delta$; son centre étant à la distance δ, le volume sera :

$$2zd\delta \,.\, 2\pi\delta = 4\pi z\delta d\delta,$$

et la masse :

$$4\pi\mu z\delta d\delta.$$

On aura donc :

$$\sum m\delta^2 = \sum 4\pi\mu z\delta d\delta \,.\, \delta^2 = 4\pi\mu \sum z\delta^3 d\delta,$$

ou sous la forme ordinaire :

$$\sum m\delta^2 = 4\pi\mu \int_{-r}^{+r} (R+\xi)^3 \sqrt{r^2 - \xi^2}\, d\xi = 4\pi\mu \int_{-r}^{+r} \frac{(R+\xi)^3 (r^2 - \xi^2)\, d\xi}{\sqrt{r^2 - \xi^2}} =$$

$$= 4\pi\mu \int_{-r}^{+r} \frac{-\xi^5 - 3R\xi^4 - (3R^2 - r^2)\xi^3 - R(R^2 - 3r^2)\xi^2 + 3R^2 r^2 \xi + r^2 R^3}{\sqrt{r^2 - \xi^2}}\, d\xi =$$

$$= 4\pi\mu [-f(5) - 3R \,.\, f(4) - (3R^2 - r^2) \,.\, f(3) - R(R^2 - 3r^2) \,.\, f(2) + 3R^2 r^2 \,.\, f(1) + r^2 R^3 \,.\, f(0)].$$

Il est évident d'abord que $f(n)$ s'annule quand n est impair, puisque entre zéro et $-r$ on retrouve, avec un signe contraire, les mêmes éléments qu'entre o et $+r$. On peut donc supprimer dès à présent les termes en

$f(1)$, $f(3)$, $f(5)$. Il vient alors simplement :

$$I = \frac{\sum m\delta^2 + 2\sum mz^2}{2} =$$

$$2\pi\mu R[-5.f(4) + (5r^2 - R^2).f(2) + R^2r^2.f(0)].$$

Or on trouve dans tous les traités la valeur de l'intégrale définie que nous avons représentée par $f(n)$, mais seulement entre les limites zéro et r. Pour l'étendre de $-r$ à $+r$ lorsque n est pair, il suffit de doubler le résultat, car on retrouve des deux côtés les mêmes éléments. On a ainsi :

$$f(n) = \frac{1.3.5.7\ .....\ (n-1)}{2.4.6.8\ .....\ n}.\pi r^n,$$

et par conséquent :

$$f(0) = \pi, \quad f(2) = \frac{\pi r^2}{2}, \quad f(4) = \frac{3\pi r^4}{8}.$$

Il vient ainsi, tout calcul fait (*) :

$$I = \pi^2\mu R r^2 \left(R^2 + \frac{5}{4}r^2\right),$$

ou sous une autre forme, en introduisant la masse totale :

$$M = 2\pi^2\mu R r^2,$$

$$I = M\left(\frac{R^2}{2} + \frac{5}{8}r^2\right).$$

Si l'on introduit, au contraire, le rapport h des rayons (8) :

$$I = \pi^2\mu h^2\left(1 + \frac{5}{4}h^2\right)R^5.$$

(*) J'indiquerai encore les deux résultats suivants, dont le premier peut être souvent utile, et le second est remarquable par sa simplicité.

Le moment d'inertie relatif à l'axe de figure du tore est :

$$M\left(R^2 + \tfrac{3}{4}r^2\right),$$

et le moment d'inertie pris par rapport au centre

$$M(R^2 + r^2).$$

19. Le facteur K mesurant la puissance, et l'inverse de I la sensibilité, le rapport $\frac{K}{I}$ sera le produit de ces deux qualités, et comme elles sont importantes l'une et l'autre, il mesurera en quelque sorte le degré de bonté de l'appareil. Or ces deux facteurs renferment les coefficients μ et R^5 (10 et 17). Leur rapport sera donc indépendant de la densité, c'est-à-dire purement géométrique, et indépendant aussi de R ou des dimensions absolues. Il ne dépend ainsi que de la forme de l'anneau ou du rapport de ses rayons. Sa valeur se déduit immédiatement des formules (10 et 17).

$$\frac{K}{I} = \frac{H}{\pi h^2(4+5h^2)} =$$

$$\frac{4}{105.\pi} \cdot \frac{(1-h)^2}{h^2(1+h)(4+5h^2)} \cdot \left\{ \begin{array}{l} (5+108.h^2+17.h^4-2.h^6).\Psi\left(\frac{1-h}{1+h}\right) \\ -(1+h)^2.(5+10.h^2-2.h^4).\Phi\left(\frac{1-h}{1+h}\right) \end{array} \right\}.$$

On pourrait chercher la valeur de h qui rend cette expression maximum, et qui ferait connaître la meilleure forme à donner à l'anneau. Cette recherche ne rencontrerait pas de difficultés analytiques, puisque les dérivées des fonctions elliptiques de première et de seconde espèce, prises par rapport au module, s'expriment à l'aide des fonctions de la troisième espèce, et que celles-ci, particulièrement dans le cas qui se présente ici, peuvent se ramener aux deux premières. Mais ce calcul est par lui-même sans élégance, et sa complication dépasse évidemment les besoins de la pratique.

NOTICE

SUR UNE LOCOMOTIVE DE MONTAGNE, CONSTRUITE PAR MM. ANDRÉ KOECHLIN ET COMPAGNIE, A MULHOUSE, D'APRÈS LE SYSTÈME E. BEUGNIOT.

Par M. LE BLEU, ingénieur des mines.

Depuis l'achèvement en France des grandes lignes qui représentent les artères du réseau, la construction des chemins de fer est entrée dans une phase nouvelle. Non-seulement on a commencé les lignes secondaires dont le tracé comporte de fortes rampes et des courbes à faible rayon, mais on s'occupe activement de franchir les limites de l'empire, au moyen de voies ferrées: dans un temps plus ou moins long, les Alpes et les Pyrénées seront traversées. Exposé.

Dans d'autres pays, en Autriche, en Suisse, en Italie, les difficultés que nous rencontrons pour nous relier avec nos voisins, se sont présentées, pour réunir entre elles des populations faisant partie d'un même état. Aussi depuis longtemps déjà, la question du transport des voyageurs et des marchandises sur des chemins de fer, à tracé très-accidenté, a-t-elle été étudiée. Jusqu'à présent le moteur reconnu le meilleur, ou plutôt le moins imparfait, a toujours été la locomotive. Le passage du Sömmering a donné naissance à la machine Engerth, employée aussi au passage du Hauenstein, sur le chemin de fer Central-Suisse. Le passage du Giovi, entre Ponte-Decimo et Busalla, ligne de Turin à Gênes a amené l'application des machines jumelles piémontaises.

Enfin, un autre passage, celui des Apennins, entre Bologne et Pistoïa, établi dans des conditions analogues, a été considéré comme assez important pour qu'il soit utile de proposer un programme ainsi conçu :

« Construire un appareil capable de remorquer 100 à » 110 tonnes, par les plus mauvais temps, et 150 tonnes » avec des conditions climatériques favorables, sur la » rampe de 25 millièmes; ladite rampe, qui a 23 kil. 1/2 » de longueur, devant être franchie en deux heures, » soit 12 kil. à l'heure, par les trains de marchandises, » et en une heure et demie, soit 16 kil. à l'heure, par » les trains mixtes.

» Combiner l'appareil de telle sorte qu'il accomplisse » le travail précité, sans qu'on emploie son maximum de » puissance, et sans qu'aucun de ses essieux soit chargé » de plus de 12 tonnes. »

Ajoutons que les courbes ont un rayon de 300 mètres (1).

---

(1) Comme nous aurons à comparer plus tard les résultats obtenus sur ces différentes lignes, il est bon de rappeler ici les conditions principales de leur tracé.

Passage du Sömmering. — La longueur de la forte rampe est de 20 kil. sur le versant nord, et 12 kil. sur le versant sud; l'inclinaison maximum est de 0m,025, et les courbes ont un rayon minimum de 190 mètres en palier et 285 mètres sur la pente de 0m,025.

Passage du Hauenstein. — D'Olten à la station de Läufelfingen, qui représente le faîte, la longueur totale est de 8.470 mètres, dont 1.880 mètres en palier, 4.070 mètres en rampe de 0m.025, et 2.520 mètres dans un tunnel en ligne droite et en rampe de 0m,028. De Läufelfingen à Sissach, la longueur de la descente est de 9.734 mètres, avec une inclinaison variant de 0m,017 à 0m,021. Le rayon minimum des courbes est de 560 mètres.

Passage du Giovi. — Sur le versant sud, qui seul présente

MM. André Kœchlin et compagnie ont accepté ce programme avec toutes ses conséquences. M. Beugniot, leur ingénieur, a conçu et exécuté une machine répondant, par sa puissance, aux conditions du programme, et pouvant au besoin, grâce à sa flexibilité, franchir des courbes d'un rayon inférieur à 300 mètres. C'est la description de cette machine qui fera l'objet de la présente notice.

Avant d'entrer dans les détails que comporte un pareil sujet, il est utile de revenir sur le programme énoncé plus haut, et examiner à un point de vue général quelle pouvait être la solution du problème posé. Discussion du programme. — Solution de la question par les types connus.

Malgré toute la latitude laissée aux constructeurs par les termes du programme, il est évident que ses auteurs n'ont eu vue qu'une locomotive; la condition relative à la charge des essieux le prouve de reste. Cela posé, une nouvelle machine était-elle nécessaire, et les types usuels et consacrés par l'expérience étaient-ils insuffisants pour résoudre le problème?

Il ne pouvait être question de machines ordinaires à six roues accouplées, ayant une adhérence maximum de 36 tonnes et représentant un effort de traction de

---

des difficultés sérieuses, la distance de Busalla (faîte) à Ponte-Decimo est de 9.740 mètres, sur laquelle est rachetée une hauteur de 271 mètres par des inclinaisons variant de $0^m,008$ à $0^m,035$. La longueur de la pente maximum est de 2.500 mètres. Un tunnel de 3.300 mètres et en pente continue de $28^{mm},7$ avec courbe de 400 mètres de rayon au sommet et de 1.000 mètres au milieu. Le minimum du rayon des courbes est de 400 mètres.

Passage des Apennins. — Ce que nous avons dit au sujet du programme de la ligne de Pistoïa à Bologne suffit pour faire connaître le tracé. Sur le versant ouest, la pente de $0^m,025$ est uniforme sur 23 kil. $\frac{1}{2}$; sur le versant est, elle n'est que de $0^m,018$ sur une longueur de 13 kil. $\frac{1}{2}$ seulement. Le rayon minimum des courbes est de 300 mètres.

4.500 kil. (moteur compris), en admettant 1/8 pour coefficient d'adhérence, tandis que l'effort de traction nécessaire, pour remorquer un train de 150 tonnes sur une rampe de 25 millièmes, est de 5 kil. par tonne de poids brut du train, et 1 kil. par tonne et par millimètre d'inclinaison, soit un total de 4.500 kil. (moteur non compris).

Les machines employées usuellement sur les grandes lignes se trouvant ainsi écartées, il y avait lieu d'examiner les types récemment adoptés pour franchir les passages les plus difficiles, c'est-à-dire les machines piémontaises, les machines Engerth et les machines-tender.

Machines jumelles piémontaises.

Le mode de traction de la ligne de Turin à Gênes, section de Ponte-Decimo à Busalla, a été décrit par M. Couche, ingénieur en chef des mines (1). Le moteur est représenté par deux machines ordinaires à quatre roues, réunies boîte à feu contre boîte à feu, et portant elles-mêmes leur approvisionnement d'eau et de combustible. La grande flexibilité de l'ensemble, due au faible écartement des essieux extrêmes de chaque groupe ($2^m,44$), rend ces machines propres à franchir, avec facilité, les courbes de faible rayon; leur disposition permet à un seul mécanicien et deux aides de les conduire aussi sûrement qu'un appareil unique, avantage considérable qui leur donne une grande supériorité sur la réunion de deux machines quelconques accouplées. Les réparations se font à chacune des machines isolément, de sorte que la mise hors service de l'une n'entraîne pas le chômage de l'autre. Enfin, les essieux n'étant réunis que deux par deux, l'emploi

(1) *Annales des ponts et chaussées*, année 1858, page 207, 2e cahier.

des machines jumelles est plus favorable à la conservation de la voie que celui d'un moteur unique à huit roues accouplées.

A côté de ces avantages, les machines jumelles piémontaises présentent de graves inconvénients, mais ils sont dus à un vice de construction et non au principe lui-même. Ainsi, la surface de chauffe n'est pas proportionnée à l'adhérence dont on peut disposer; de sorte que, pour utiliser cette adhérence, on est obligé de surmener les chaudières, par conséquent d'augmenter les dépenses de combustible et de rendre les réparations plus fréquentes; on perd ainsi le bénéfice réalisé sur l'unité de conduite; d'un autre côté, la surcharge des essieux occasionne à la voie et aux bandages de rapides détériorations.

Ces vices de construction étaient faciles à corriger, comme l'a indiqué M. Couche. Il suffisait de répartir la charge de chaque machine sur trois essieux, dont l'écartement extrême n'eût été que de 2^{m},50. Cette disposition aurait permis en même temps d'augmenter la surface de chauffe et de la mettre en rapport avec l'adhérence.

M. Beugniot a reconnu qu'un pareil moteur aurait rempli les conditions de son programme. La seule objection qu'il ait soulevée est relative à la consommation de combustible. Il suppose qu'une chaudière unique consommera toujours moins que deux chaudières, représentant ensemble la même surface de chauffe que la première. C'est une hypothèse que l'expérience n'a encore consacrée que dans certaines limites, et aucun fait n'autorise à l'étendre au cas où il s'agit de deux chaudières simples représentant 100 mètres quarrés de surface de chauffe chacune, comparées à une autre de 200 mètres quarrés. Il est bien certain aussi que M. Beu-

gniot, mû par la confiance que lui inspiraient des études approfondies, a voulu créer une machine toute nouvelle, sentiment bien légitime, qui chez tous les inventeurs est le mobile du progrès.

Machines Engerth.

Les machines Engerth offraient pour le problème posé à MM. André Koechlin et compagnie une autre solution. Elles ont été depuis huit ou dix ans employées, avec plus ou moins de succès, sur différentes lignes, à tracés très-divers. Dans l'origine leur auteur avait pour but de les appliquer au passage du Sömmering (1). Il avait en conséquence cherché à allier dans ce type la puissance, la flexibilité et l'utilisation de la totalité du poids adhérent. La machine, supportée par trois essieux accouplés, dont les deux extrêmes avaient un faible écartement, était reliée d'une manière invariable au tender, qui cependant avait ses mouvements transversaux indépendants. Celui-ci, avec deux ou trois essieux, dont le premier était placé en avant de la boîte à feu, supportait une partie du poids de la machine. Par un système d'engrenages, le mouvement des roues de la machine était communiqué à celles du tender, de sorte que la totalité du poids était utilisée pour l'adhérence.

Cette dernière disposition ne tarda cependant pas à être abandonnée, comme impraticable, et la machine Engerth devint une locomotive ordinaire à six roues couplées, avec cette différence cependant que la boîte à feu, ayant de vastes dimensions, grâce à sa position entre les essieux du tender, et les tubes une grande longueur, on pouvait disposer d'une surface de chauffe

---

(1) Voir aux *Annales des mines*, 5e série, t. VI, p. 343, le mémoire de M. Couche sur les machines locomotives à petite vitesse.

considérable et d'un poids adhérent encore très-raisonnable, une partie de l'approvisionnement d'eau et de combustible étant reportée du tender sur la machine. L'écartement des essieux extrêmes du moteur était assez limité et permettait le passage dans des courbes de faible rayon.

Cependant le rapport entre la surface de chauffe et le poids adhérent était tel que cette machine ne pouvait être considérée que comme une locomotive, à moyenne vitesse, et non comme un remorqueur de trains de marchandises. Elle a néanmoins rendu de grands services au passage du Sömmering et à celui du Hauenstein.

Mais la machine Engerth devait subir des modifications plus importantes que la simple suppression des engrenages. Le tracé des lignes françaises du Nord et de l'Est permettait de pousser plus loin qu'en Allemagne, l'écartement des essieux extrêmes; aussi fit-on bon marché de la question de flexibilité pour des machines qui devaient circuler sur un réseau peu accidenté. L'essieu d'avant du tender en fut détaché et relié aux autres essieux de la machine, de sorte que celle-ci fut portée par huit roues accouplées, l'écartement des essieux extrêmes étant porté à $3^{m},95$. Par cette disposition on obtenait, il est vrai, un moteur d'une énorme puissance, mais on perdait la plupart des avantages que l'auteur avait eus en vue. Les inconvénients d'un pareil système ont été trop bien décrits par M. Couche et par M. Vuillemin, pour que nous ayons à les signaler de nouveau; il nous suffira de dire que sur la ligne de l'Est, le découplement du tender et de la machine est décidé en principe, de manière à rendre à celle-ci le caractère de moteur indépendant.

La machine Engerth, *française*, c'est-à-dire à huit roues accouplées, ne devait donc et ne pouvait même être adoptée pour la ligne de Bologne à Pistoïa. La machine Engerth primitive était également inadmissible, à cause de l'insuffisance déjà signalée des machines à six roues accouplées et aussi par suite de son principe même qui en fait une locomotive à moyenne vitesse.

C'est donc avec raison que le type Engerth a été rejeté pour la solution du problème posé.

Machines-tender. Les machines-tender à six roues accouplées, employées sur le réseau prussien et sur d'autres lignes rendent de grands services; mais la charge des essieux est excessive et atteint quelquefois 16 tonnes; cette condition, à peine tolérable sur une voie parfaitement exécutée et entretenue, n'est plus admissible quand il s'agit d'un tracé pareil à celui des Apennins; elle était d'ailleurs formellement contraire aux termes du programme.

Mais, tout en restant dans l'ordre d'idées qui avait présidé à l'établissement du modèle prussien, on pouvait chercher à construire une machine-tender à huit roues accouplées, pourvu que l'on trouvât une articulation capable de combattre la rigidité des quatre essieux, dans des courbes de 300 mètres de rayon et au-dessous.

Ce projet fut étudié avec le plus grand soin; mais il entraînait, malgré tout, à une surcharge d'autant plus dangereuse qu'elle était inégale pour chacun d'eux. — A la rigueur il eût été possible d'ajouter un cinquième essieu; mais cette combinaison conduisait fatalement au retrécissement de la boîte à feu, et il importait, avant tout, de conserver la surface de chauffe directe, aussi grande que possible.

Le type prussien a donc été abandonné par M. Beugniot, comme les précédents, et il a produit un modèle tout nouveau que nous avons à étudier.

I. Description de la locomotive de montagne.

La locomotive de montagne de MM. André Kœchlin et compagnie (système Ed. Beugniot) rappelle, par sa disposition générale, les machines Engerth françaises; elle est supportée, comme celles-ci, par huit roues accouplées, laissant la boîte à feu en porte-à-faux; une partie de son poids est supportée par le premier des trois essieux du tender. On a pu ainsi obtenir une surface de chauffe considérable, en développant le foyer, le nombre et la longueur des tubes. Mais là s'arrête l'analogie avec la machine Engerth. En effet, la solidarité du moteur avec le tender a disparu dans la locomotive Beugniot; le tender supporte bien encore une partie du poids de la chaudière, mais il n'est relié à la machine que par un simple attelage, d'une forme spéciale, il est vrai. Locomotive de montagne.

Ce qui caractérise cette machine, c'est sa flexibilité due à un organe tout nouveau qui permet aux essieux de se mouvoir transversalement à la voie.

Par l'ensemble de ces dispositions, M. Beugniot a obtenu les avantages reconnus incontestables des machines Engerth, tout en remédiant aux plus graves inconvénients qui étaient reprochés à celles-ci sur les lignes françaises; c'est-à-dire la solidarité complète de la machine et du tender, et la rigidité résultant de l'accouplement des quatre essieux.

Pour n'être pas complète, la solidarité de la machine et du tender n'en existe pas moins jusqu'à un certain point, puisque ce dernier supporte une partie du poids

de la machine; mais le découplement étant très-facile, dans une exploitation où plusieurs moteurs de ce type seraient employés, un tender de rechange se placerait aussi facilement qu'avec les machines ordinaires.

La description complète de la machine de M. Beugniot nous amènerait à entrer dans tous les détails de construction des locomotives. Tel n'est pas notre but, et nous nous contenterons de signaler les dispositions principales et de décrire celles qui sont nouvelles. Puis nous indiquerons les dimensions des pièces principales.

La Pl. VIII donne la coupe longitudinale de la machine et de son tender, et le plan, la chaudière enlevée.

Chaudière.

La chaudière représente une surface de chauffe de 173 mètres quarrés, dont $9^{mq},40$ donnés par la boîte à feu et $163^{mq},60$ par 222 tubes de $4^{m},800$ de longueur et 53 millimètres de diamètre extérieur.

Le corps cylindrique d'un diamètre intérieur de $1^{m},463$ est rivé, de mètre en mètre, sur des anneaux composés de fortes cornières représentant de solides armatures qui, pendant la pose des rivets, ont permis de maintenir, sans ovalisation, la forme rigoureusement circulaire. Aussi, malgré les faibles épaisseurs de la tôle, 13 millimètres, par suite de laquelle on n'a pu la timbrer qu'à 7 atmosphères, cette chaudière pourrait, sans inconvénient, être soumise à des pressions beaucoup plus élevées, qu'elle supporterait mieux que d'autres ayant l'épaisseur légale, mais moins bien construites.

Nous verrons plus loin que, dans certains cas, assez rares, il est vrai, il eût été utile de pousser la pression à 8 ou 9 atmosphères, pour utiliser la totalité du poids adhérent. D'ailleurs les avantages de la haute pression sont aujourd'hui généralement reconnus. Si ces avan-

tages sont quelquefois compensés par l'augmentation d'entretien, c'est par la perfection dans la construction qu'on doit chercher à combattre les détériorations, et c'est précisément cette perfection que nous cherchons à faire ressortir dans l'appareil qui nous occupe.

Outre les armatures du corps cylindrique, les tirants et entretoises ont été multipliés, et les métaux employés toujours choisis de la première qualité.

Le corps cylindrique de la chaudière repose librement sur ses supports, la boîte à fumée et la boîte à feu sont fixées au châssis extérieur, dont l'extrémité s'appuie par l'intermédiaire de la traverse d'arrière sur le tender.

La machine est portée sur deux bâtis, l'un extérieur, l'autre intérieur. L'un et l'autre ont leur destination spéciale. Châssis extérieur.

Le châssis extérieur forme un rectangle entourant toute la machine, et présente par conséquent à l'arrière une traverse pour l'attelage. Si nous rappelons cette disposition qui n'a rien de particulier, c'est qu'elle n'existe pas dans les machines Engerth à huit roues, et que le défaut des traverses d'arrière a été une gêne quand on a voulu les accoupler à un tender ordinaire. La seule particularité que présente le châssis extérieur de la nouvelle locomotive, c'est que les longerons ont dû être ployés à la hauteur des cylindres, pour obtenir la largeur nécessaire à l'emplacement de ceux-ci. Le défaut de solidité qui en résultait a été compensé par des armatures en cornières.

Le bâtis extérieur ne supporte que le quart ou le tiers du poids de la machine; le reste de la charge est reporté sur les essieux par l'intermédiaire du bâtis intérieur.

Celui-ci est mobile et composé de pièces différentes,

de sorte que le nom que nous lui avons donné ne peut s'y appliquer exactement. Comme il joue un rôle très-important dans la machine, nous en donnerons une description spéciale.

Bâti extérieur. Articulation des essieux.

Les quatre essieux, séparés par des intervalles égaux de 1m,30 et portant des roues de 1m,20 de diamètre, sont partagés en deux groupes, celui d'avant et celui d'arrière; chaque groupe est muni de pièces identiques et indépendantes, et correspond à chacun des deux supports de la chaudière, placés l'un entre le premier et le deuxième, l'autre entre le troisième et le quatrième essieux. Il suffira donc de décrire la partie qui se rapporte à l'un des supports (Pl. VIII, *fig.* 1 et 2; Pl. IX, *fig.* 2 et 6).

Les deux essieux ont chacun quatre fusées, deux intérieures et deux extérieures; ils sont reliés par deux fortes pièces de fer forgé, dites balanciers (B,B), sur lesquelles s'appuie le support de la chaudière au moyen de deux pivots hémisphériques (PP) reposant dans des crapaudines. L'extrémité des balanciers embrasse les essieux dans des boîtes à graisse (GG) qui reportent le poids sur les fusées intérieures, par l'intermédiaire de ressorts (RR). Ces ressorts eux-mêmes sont articulés au moyen d'un petit balancier (*bb*).

Il résulte de cette disposition, que dans un même groupe les mouvements transversaux sont rendus solidaires pour les deux essieux, qui cependant sont assujettis à rester parallèles. La limite de ce mouvement est déterminée par le jeu laissé aux boîtes à graisse extérieures dans leurs glissières respectives. Ce jeu est de 20 millimètres dans chaque sens; l'amplitude du déplacement transversal est donc de 40 millimètres.

Quand la machine entre dans une courbe, la pression du rail extérieur, contre le bandage du premier essieu, le déplace d'une quantité déterminée qui est immédiatement transmise, en sens contraire, au second par l'intermédiaire du balancier; en continuant à avancer, la réaction du rail extérieur aura lieu sur le bandage du quatrième essieu qui, à son tour, entraînera le troisième; de sorte que les quatre roues extérieures se trouveront dans des plans verticaux différents. Les points de contact de chacune des roues détermineront aussi les huit sommets d'un polygone flexible, toujours inscrit entre les rails.

Les conditions auxquelles ce polygone est assujetti sont que les sommets soient deux à deux placés sur des lignes parallèles et équidistantes. Dans ces termes généraux, toutes les courbes pourraient être franchies par la machine; mais, sans parler des autres organes, la limite du rayon possible est fixée par les essieux eux-mêmes, c'est-à-dire par le jeu de leurs boîtes à graisse dans les glissières.

Soit AM, Pl. IX, *fig.* 7, le rail extérieur de la courbe à franchir, *a*, *b*, *c*, *d*, la position respective des quatre essieux. Comme les deux essieux *a*, *b* sont indépendants des deux autres *c*, *d*, la courbe à rayon minimum sera franchie quand, dans chaque groupe, le déplacement transversal sera maximum, c'est-à-dire 40 millimètres. Soit donc $mi = 40$ millimètres, d'où $mn = 60$ millimètres. Mais $am = 1^m,95$ ou la moitié de l'empatement total ($3^m,90$) de la machine, le rayon sera donc celui d'un cercle dans lequel le sinus d'un angle est $1^m,95$ et le sinus-verse $0^m,06$, c'est-à-dire $R = 32$ mètres. Mais dans ce cas l'angle au centre α, ou celui de la direction de la roue extrême avec le rail, serait de $3^\circ\ 1/2$, et il y

aurait frottement des boudins; d'ailleurs, les autres organes de la machine ne se prêteraient pas à un déplacement aussi considérable. Il faut remarquer aussi que, dans l'attaque d'une courbe, les deux roues des essieux *b*, *c* ne sont pas dans le même plan, ce qui réduit *mn* et augmente R.

En résumé, la machine a été construite en vue de franchir des courbes d'un rayon minimum de 100 mètres, pour lequel l'angle α est de 1° 3' 1/2, la valeur correspondante de $mn = 21$ millimètres, celle de *mi*, ou déplacement latéral simultané des deux groupes d'essieux, 14 millimètres. Ce déplacement pourra être porté à 21 millimètres dans le passage d'un alignement droit ou surtout d'une courbe à une contre-courbe, et plus loin encore, par suite de réactions momentanées des rails, sur un groupe d'essieux. Dans tous les cas, le jeu est suffisant pour que la machine franchisse, sans aucune difficulté, des courbes de 100 mètres de rayon.

Ce premier point établi, avant de passer à la description des autres organes de la machine, nous dirons quelques mots du mode de suspension qui se rattache naturellement à ce qui précède.

Ressorts. La machine est suspendue sur seize ressorts, dont huit extérieurs et huit intérieurs, indépendamment de la charge reportée sur le tender, dont nous parlerons plus tard.

Les ressorts extérieurs supportent, comme nous l'avons dit, le tiers ou le quart de la charge en marche normale; mais ils sont calculés pour un effort beaucoup plus considérable, et ils agissent souvent ainsi utilement, dans l'attaque des courbes, à faible rayon, où le rail extérieur est surélevé, et surtout dans le passage d'une courbe à une contre-courbe, lorsque le centre de

gravité se trouve brusquement déplacé par le déversement de la machine.

Les ressorts intérieurs sont, comme nous l'avons dit, reliés deux à deux par de petits balanciers d'articulation. Cette disposition, très-usitée hors de France, donne d'excellents résultats en faisant concourir deux essieux aux surcharges momentanées qui résultent des oscillations longitudinales.

Mécanisme de transmission.

Nous avons fait connaître le mode d'articulation au moyen duquel les essieux, tout en conservant leur parallélisme, peuvent se déplacer transversalement et permettre à la machine de franchir des courbes de faible rayon. Il nous reste à examiner comment le mécanisme de transmission se prête à de pareils déplacements ; c'est ce qui résultera de la description de ces organes.

Cylindres.

Par suite de calculs, dont nous donnerons plus loin un résumé, les cylindres ont 54 centimètres de diamètre et les pistons 56 centimètres de course. Ce diamètre considérable n'a pas encore été atteint, à notre connaissance. En l'adoptant, en même temps que le châssis extérieur, on a été entraîné à une modification complète des types existants.

En effet, l'espace manquait pour placer ces énormes cylindres à l'intérieur. A l'extérieur, la présence du châssis obligeait de donner à la machine une largeur incompatible avec les voies ferrées telles qu'elles sont construites. Il fallait dès lors les placer dans une position intermédiaire, et par suite ils ne pouvaient être qu'en avant de la première paire de roues. Cette disposition, qui, d'ailleurs, ainsi que nous le verrons plus loin, a donné lieu à quelques critiques, est donc la conséquence de celles que nous avons déjà décrites.

L'entr'axe des cylindres a été porté à 1m,556, c'est-à-dire que leurs axes sont de part et d'autre au-dessus du rail. Il en résulte que l'essieu moteur ne pouvait être commandé directement par la tige du piston et sa bielle. Dans la disposition adoptée, l'effort est transmis à l'essieu moteur, qui est le premier, par deux bielles reliées par une traverse à la tête du piston; l'une intérieure C′ commande l'essieu coudé, l'autre extérieure C commande une manivelle calée symétriquement.

Les têtes de bielles sont construites de manière à leur permettre l'obliquité que nécessite le mouvement transversal de l'essieu moteur. A cet effet, le tourillon D, (Pl. VIII, *fig.* 2, et Pl. IX, *fig.* 2 et 3), au lieu d'être cylindrique, représonte un segment sphérique jouant dans des coussinets de même forme.

Les boutons des bielles d'accouplement D′ ont aussi la forme d'un segment sphérique qui remplit le même but.

Bielles d'accouplement.

Sur les manivelles d'accouplement de l'essieu moteur sont calées les poulies d'excentrique de la distribution; sur les manivelles de l'essieu d'arrière, les poulies d'excentrique commandent les pompes alimentaires, de telle sorte que tous les mouvements sont à l'extérieur. Le mécanicien peut les voir de sa place et les graisser en marche : cela était d'autant plus utile que l'on pouvait avoir à craindre des grippements dans des pièces soumises à des efforts obliques. D'ailleurs, les moyens de graissage ont été multipliés, dans le même but, sur tous les points.

Organes de la distribution.

La position de l'essieu moteur par rapport aux cylindres ne permettait pas un mécanisme de distribution entièrement direct. Les barres d'excentrique, dirigées du côté opposé aux cylindres, transmettent

le mouvement à la tige du tiroir par l'intermédiaire d'une série de leviers, dont la disposition est indiquée (Pl. IX, *fig.* 4 et 5). Ce mécanisme est, comme les autres, entièrement extérieur et sous les yeux du mécanicien.

Les lumières d'introduction de la vapeur dans le cylindre ont 45 millimètres de largeur et 340 millimètres de longueur, la lumière d'échappement 80 millimètres de largeur. Le recouvrement extérieur du tiroir est de 29 millimètres dans un sens et 32 milli mètres dans l'autre, et le recouvrement intérieur de 10 millimètres. L'angle de calage des poulies d'excentrique a été fixé à 30°. Le rayon d'excentricité est de $57^{mm},5$.

Ces dimensions, combinées avec les points d'attache de la coulisse et des barres d'excentrique, déterminent la distribution de la vapeur dans les différentes positions du levier de marche. La course maximum du tiroir est de 115 millimètres, et la course minimum de 73 millimètres (point mort). La machine a été réglée pour une course normale du tiroir de 103 millimètres, correspondant à 2/3 d'admission et 1/3 de détente. Le tableau suivant indique, dans ce cas, les différentes phases de la distribution, la colonne A se rapportant au mouvement du piston dans le sens de la marche, et la colonne R au mouvement en sens contraire.

	A	B
	millim.	millim.
Avance linéaire a l'admission	1,75	1,75
Admission de la vapeur pendant une fraction de la course du piston de	370	375
Détente pendant une fraction de la course du piston. .	175	145
Echappement anticipé pendant une fraction de la course du piston	15	40
Total égal à la course du piston.	560	560
Avance linéaire à l'échappement.	21,75	18,75
Echappement pendant une fraction de la course du piston de	470	455
Compression pendant une fraction de la course du piston..	90	105
Total égal à la course du piston.	560	560

L'ouverture maximum des lumières est de $23^{mm},5$.

Lorsque le levier de marche est au premier cran de la marche en avant, la course du tiroir est de 78 millimètres. Il résulte du réglage de la machine, qu'alors l'admission de la vapeur a lieu pendant 102 millimètres de la course du piston et la compression pendant 254 millimètres : cette compression se continuant pendant l'échappement anticipé, suffit pour former frein et ralentir la marche sur les pentes prolongées. Cet effet est analogue à celui que l'on réalise dans d'autres machines en plaçant le levier au premier cran de la marche en arrière; mais alors c'est la contre-vapeur qui agit. Dans l'un et l'autre cas, non-seulement on obtient un ralentissement de la marche, mais on a encore l'avantage important de maintenir toujours les cylindres baignés de vapeur, condition essentielle de leur conservation. Avec le levier, dans le sens de la marche en avant, l'aspiration de l'air extérieur est nulle ou à peu près, de sorte qu'il ne s'introduit pas dans les cylindres de fragments de combustible déta-

chés de la boîte à fumée ; l'usure qui peut provenir de l'introduction de ces corps étrangers est ainsi prévenue.

Le mode d'accouplement de la machine et du tender réalise à la fois un attelage combiné pour le passage des courbes à faible rayon et un allégement de la machine par le premier essieu du tender, qui supporte une partie du poids de la boîte à feu. Nous examinerons d'abord de quelle manière ce poids est ainsi reporté sur le tender (Pl. VIII).

Accouplement de la machine et du tender. — Poids reporté sur le dernier.

Le premier essieu de celui-ci a quatre fusées, comme ceux de la machine. Celles extérieures supportent leur part du poids propre du tender, poids très-faible qui ne dépasse pas 3.500 à 3.800 kilogrammes en moyenne. Les fusées intérieures sont prises dans deux plaques de gardes spéciales, et leurs boîtes à graisse surmontées de ressorts à trois lames F, d'une flexibilité de 20 millimètres par tonne. Chaque ressort appuie contre une glissoire de forme spéciale, qui se meut dans le sens vertical en obéissant aux oscillations du ressort. Ces glissoires, filetées à l'intérieur, reçoivent chacune une forte tige filetée du même pas, et terminée par une tête hémisphérique noyée dans une crapaudine en bronze K. Ces deux crapaudines, terminées à leur partie supérieure par des surfaces planes, viennent se placer en dessous de la traverse d'arrière de la machine; ce sont elles qui, lorsqu'on remonte les vis, reportent, par leur intermédiaire et celui de leurs ressorts, une partie de la charge de la machine sur le premier essieu du tender.

Ce poids ainsi reporté n'est pas considérable ; il varie pendant l'état de repos ou dans la marche normale de 1.500 à 2.000 kilogrammes. L'allégement qui en résulte pour la machine est donc insignifiant. Il de-

vait en être ainsi, car une perte notable du poids adhérent eût été une faute ; mais l'avantage de cette disposition est d'augmenter beaucoup la stabilité de la machine et de rendre ses allures plus douces en empêchant les oscillations de la partie en porte-à-faux. Cet effet est très-sensible ; si, en marche, on détourne les tiges filetées, de manière que les deux points d'appui ne soient plus en contact avec la traverse d'arrière, les mouvements insolites de la machine deviennent aussitôt très-marqués, même à une faible vitesse.

Cette disposition est donc très-logique et éminemment propre à favoriser la conservation de la voie. L'essieu d'avant du tender, chargé normalement de 5.000 à 5.800 kilogrammes, peut recevoir une surcharge momentanée de 6 tonnes, sans que son action sur les rails soit plus destructive que celle de la machine, et la surcharge lui étant appliquée directement, il n'y a aucun trouble dans les fonctions des deux essieux d'arrière.

Attelage du tender.

Afin d'éviter dans les courbes les tractions et les poussées obliques dues au peu de longueur des barres d'attelage employées ordinairement, la disposition suivante a été adoptée (Pl. VIII).

Deux longues barres d'attelage (H.H) sont boulonnées, d'une part au châssis extérieur de la machine aux points (M.M) et de l'autre s'articulent aux extrémités d'un balancier (N), lequel est emmanché en son milieu dans une chappe fixée à la traverse d'avant du tender, de sorte que la traction se fait sur un point fixe et non sur la bride d'un ressort.

Deux tampons de butée, en fer forgé, ayant seulement 80 centimètres d'entr'axe s'appuient par l'extrémité de leur tige contre l'extrémité d'un ressort de choc (Q) qui se trouve fixé de l'autre côté de la traverse d'avant du tender par le moyen d'une chappe à écrou.

Lorsque ces tampons sont en contact avec ceux en tôle trempée de la machine qui leur font face, il s'en faut de 40 millimètres que les barres d'attelage puissent s'emmancher aux deux bouts du balancier. C'est cette tension initiale du ressort qui doit maintenir la solidarité de la machine avec son tender.

Pour atteler, on emmanche une des barres, en inclinant le balancier de la quantité nécessaire, soit 80 millimètres d'un côté; puis, après avoir serré à fond les sabots du frein, on donne la vapeur en arrière; la poussée de la machine fait céder le ressort de choc et la seconde barre d'attelage s'emmanche. On dételle d'une façon analogue.

Du milieu du balancier part une forte barre de sûreté destinée à agir dans le cas où l'une des barres principales viendrait à se rompre. Celle-ci a ses trous ovalisés, de manière à permettre au ressort une flexion de 6 centimètres : un boulon la traverse à son extrémité opposée.

Ce mode d'attelage était indispensable pour laisser à la machine toute sa liberté de mouvements. Les points d'attache des barres (MM) et de la chappe (I) du balancier sont calculés de telle sorte que, dans une courbe de 100 mètres de rayon, la liaison de la chappe et du milieu J de la ligne théorique joignant les deux poits d'attache, représente l'attelage théorique, c'est-à-dire que ces points sont les intersections des axes du tender et de la machine avec l'axe de la voie.

Nous n'avons rien de particulier à dire sur le tender; Tender.
il est porté sur six roues. Sa capacité est de 7.500 litres d'eau, chiffre que l'on pourrait porter à 9.000 litres, par une simple élévation des parois, si les besoins du service rendaient cette augmentation nécessaire. La charge de chacun des essieux est la suivante :

1er essieu. . 5.200k (y compris 1.500 à 2.000k de la machine).
2e essieu. . 9.160
3e essieu. . 9.190

Total. 23,550k (y compris 1.500 à 2.000k de la machine).

soit environ 22.000 kilogrammes pour le poids du tender plein, et environ 13.000 kilogrammes pour le poids du tender vide.

Calcul des dimensions. Poids adhérent.

Après cette description succinte de la machine, nous avons à rappeler les dimensions que nous pourrions appeler organiques et à voir comment elles résultent du principe qui a été posé et du type qui a été adopté.

Aux vitesses que la locomotive de montagne est appelée à acquérir, la résistance à la traction varie peu; elle est à peu près la même sur palier et sur rampe, et peut être évaluée à 5 kilogrammes par tonne de poids brut du train; il faut y ajouter 1 kilogramme par tonne et par millimètre d'inclinaison; sur une rampe de 25 millièmes, l'effort de traction est donc de 30 kilogrammes par tonne de poids brut.

Soit P le poids brut du train, y compris celui du tender, p celui de la machine, c'est-à-dire le poids adhérent, K le coefficient d'adhérence, on aura la relation

$$0,030\,(P+p)=p\times K.$$

Or, d'après le programme proposé, le poids du train devait être de 160 tonnes au plus, dans de bonnes conditions atmosphériques, et 100 tonnes au moins dans de mauvaises conditions. Dans ces deux cas extrêmes, $P' = 160 + 20$ (poids du tender) $= 180$ et $P'' = 120$.

Une machine à huit roues accouplées ayant été adoptée en principe, et la charge d'un essieu ne devant pas dépasser 12 tonnes, p était au plus égal à 48 tonnes; d'où l'on conclut qu'il fallait, dans chaque cas particulier, compter sur un coefficient d'adhérence

$$K' = \frac{0{,}030 \times 228}{48} = \frac{1}{7{,}017},$$

$$K'' = \frac{0{,}030 \times 168}{48} = \frac{1}{9{,}524}.$$

Le coefficient adopté 1/7 est un peu fort, mais il ne s'applique que dans le cas où les conditions sont très-favorables; souvent alors il s'élève à 1/6 ou 1/5; mais on ne peut compter sur ces chiffres. D'ailleurs, dans les souterrains, le coefficient réel est bien inférieur à 1/7, et l'on est obligé d'employer le sable en quantité. Cependant nous verrons, par les résultats obtenus, que l'adhérence a été suffisante dans toutes les expériences faites jusqu'à ce jour.

Le poids adhérent a donc été fixé à 48 tonnes environ et a été réparti également sur les quatre essieux, savoir :

Sur le 1er essieu (moteur)	11.800 kil.
2e essieu, 3e essieu	23.600
4e essieu	11.900
Total	47.300 kil.

Le poids adhérent étant fixé à 47.300 kil., le 1/7 de ce poids ou 6.757 kil. représentait dans l'état normal l'effort tangentiel maximum des roues motrices, et leur travail était égal à ce chiffre multiplié par la vitesse. Or la vitesse avait été fixée à 16 kil. à l'heure, soit $4^m,44$ par seconde. Le travail maximum de la machine était donc déterminé d'avance et devait être de 6.757 kil. $\times$ $4^m,44 = 30.001,08$, soit 30.000 kilogrammètres par seconde ou 400 chevaux. Surface de chauffe.

En comparant la nouvelle machine aux types reconnus les meilleurs, sa surface de chauffe devait être de 160 à 180 mètres quarrés. Elle est en réalité, comme nous l'avons vu, de 173 mètres quarrés.

Roues. La détermination du diamètre des roues était corrélative de celle de la surface de chauffe. Il fallait que le nombre de coups de piston fût tel, que la combustion dans le foyer fût assez active. En limitant à $1^{m},20$ le diamètre, on obtenait un nombre de coups de piston égal à 1,18 par seconde pour une vitesse de 16 kil. à l'heure, et à 0,88 pour une vitesse de 12 kil.; c'était sans doute un minimum, et par conséquent le diamètre de $1^{m},20$ un maximum qu'il eût été difficile de dépasser.

Contre-poids. Les contre-poids des roues ont été calculés de manière à dépasser légèrement le chiffre donné par les formules pour la condition d'équilibre vertical. Ce chiffre serait, en effet, de 590 kil. et le contre-poids, réparti également sur les quatre roues, d'un même côté, est de 640 kil.

Cylindres. La course des pistons dans les cylindres dépendait du diamètre des roues, et ne pouvait être supérieure à 56 centimètres, à cause de la place nécessaire pour les boutons de manivelles. Quant au diamètre, il a été calculé par la formule de M. Redtenbacher :

$$O = \frac{1}{2} \times \frac{V}{v} \times \frac{W}{\left(\frac{\alpha}{\beta} + p\right) - \left(\frac{\alpha}{\beta} + r\right)},$$

dans laquelle O désigne la section du cylindre, V la vitesse normale de la machine, $4^{m},44$ par seconde, v la vitesse des pistons, W la résistance totale du train, r le rayon des manivelles, p la pression de la vapeur en kilogrammes par mètre quarré, α et β les coefficients de formule $\alpha + \beta p$, exprimant le poids d'un kilogramme de vapeur à la pression p.

Cette formule donne pour le diamètre des cylindres $0^{m},536$; le chiffre adopté est de 54 centimètres.

II. Considérations générales. — Résultats des expériences.

Dans la description des divers organes de la locomotive de montagne, on a pu reconnaître que l'auteur avait toujours eu en vue un triple but, c'est-à-dire qu'il a cherché à réunir à un haut degré, dans un même appareil, la *puissance*, la *flexibilité* et la *stabilité*. **Avantages de la nouvelle machine.**

La puissance résulte à la fois, comme nous l'avons rappelé dans les pages précédentes, de la surface de chauffe et du poids adhérent. En admettant 1/7 pour coefficient d'adhérence, cette machine peut remorquer un train de 160 tonnes à une vitesse de 16 kil. à l'heure sur une rampe de 25 millimètres. Dans les mêmes conditions de vitesse, le poids brut remorqué sur une rampe de 5 millimètres serait de 675 tonnes. Nous verrons tout à l'heure que ces chiffres ont été largement confirmés par l'expérience. **Puissance.**

Lorsque cette énorme puissance est appliquée à de fortes rampes, on est frappé de l'anomalie qui semble résulter de l'addition d'un tender, lequel représente un poids mort de 20 à 22 tonnes, soit 1/8 du poids du train, sur rampe de 25 millimètres, et 1/5 si l'inclinaison s'élève à 35 millimètres. C'est d'après cette considération que les machines-tender ont été construites, et dans le cas actuel, il semblait logique de suivre la même marche. Mais, quoi qu'on fasse, la répartition égale du poids est impossible dans une machine-tender. Un ou deux des essieux ont, au moment du départ, une charge considérable qui va en diminuant à mesure que l'eau et le combustible sont consommés. Dans les conditions d'un parcours de 25 kil. 1/2, sans escale, la machine doit consommer la presque totalité de l'approvisionnement, c'est-à-dire 8 à 9 tonnes. Il est évi-

dent qu'une diminution aussi considérable dans le poids adhérent, et par suite dans la puissance, aurait les plus graves inconvénients.

Pour y remédier, il aurait fallu créer une ou deux stations intermédiaires, afin de remplacer les quantités de combustible et d'eau consommées. Mais alors les dépenses qu'aurait entraînées une pareille installation n'auraient-elles pas été supérieures à l'augmentation des frais de traction, résultant de l'addition d'un poids mort ?

Ensuite, comme nous l'avons déjà fait remarquer, pour éviter la surcharge des essieux, il aurait fallu en ajouter un cinquième derrière la boîte à feu, et par conséquent réduire les dimensions de celle-ci et perdre une partie de la surface de chauffe directe.

L'addition du tender, si elle donne lieu à quelques critiques, a donc aussi sa raison d'être. Jusqu'à présent, les machines-tender qui ont été construites ont donné d'assez mauvais résultats, notamment celles de la ligne du Midi qui, en peu de temps, ont complétement détérioré la voie. Aussi ne doit-on pas, *à priori*, considérer comme une faute la séparation du moteur et du véhicule qui porte son approvisionnement. Sauf des cas assez rares, celui où les machines ont à faire un faible parcours en développant pendant un temps très-court un travail considérable, ou bien encore lorsqu'il s'agit du service des gares, l'expérience n'a pas encore consacré l'utilité des machines-tender.

La pression normale de la vapeur dans la chaudière n'est pas un des éléments de la puissance de la machine. Il peut être utile seulement, dans certains cas exceptionnels, où l'adhérence n'est plus en rapport avec la surface de chauffe, d'élever momentanément la pression. La construction de la chaudière permet d'ob-

tenir ce résultat sans danger, quoique la tension normale de la vapeur soit limitée à 7 atmosphères. Nous avons dit déjà que la pression élevée avait des avantages incontestables ; mais elle présente aussi des inconvénients graves, lorsque, comme dans le cas actuel, le foyer est entouré de larges surfaces planes. L'entretien devient alors très-dispendieux. Quand la locomotive de montagne aura fourni un long parcours, on pourra comparer les résultats obtenus avec ceux que donnent les machines marchant à plus haute pression, dans des conditions analogues. Jusqu'à ce moment la question, qui, d'ailleurs ne touche qu'indirectement à notre sujet, doit rester en suspens.

Flexibilité.

La flexibilité de la locomotive de montagne est due à l'articulation des essieux de la machine et à l'attelage spécial du tender.

Le mode de construction que nous avons décrit donne une solution théorique très-ingénieuse du passage des courbes d'un rayon de 100 mètres et plus; mais il était nécessaire qu'il eût la sanction de la pratique. La machine a franchi les courbes avec la plus grande facilité; les balanciers ont fonctionné avec la plus grande régularité. Mais on pouvait craindre que le jeu laissé aux boîtes à graisse dans leurs glissières ne fût une cause de perturbation dans la marche en alignements droits. Nous avons reconnu que cette marche était aussi régulière que pour les machines à essieux rigides. Ce que nous avons constaté nous-même, à cet égard, sur la ligne de Mulhouse à Bâle, a été confirmé par les ingénieurs de la ligne de la Méditerranée. Ils ont reconnu, comme nous, que les couples d'essieux se gouvernent sans lacet jusqu'à la vitesse de 40 kilomètres à l'heure, et sans mouvement de rotation autour des pivots sphériques du bâti mobile.

L'inflexion des pièces de ce bâti, au moment où la machine entre en courbe, a lieu sans secousse. Quand elle sort de la courbe, les essieux reprennent naturellement leur position normale. Il en est de même des différentes pièces de l'attelage du tender.

Stabilité. La stabilité de la machine est obtenue par diverses dispositions qu'il est utile de rappeler.

1° Charge également répartie sur les quatre essieux;

2° Poids reporté sur le tender, faisant supporter au premier essieu de celui-ci les oscillations de la boîte à feu;

3° Charge répartie sur seize ressorts, dont huit extérieurs et huit intérieurs.

4° Articulation des ressorts intérieurs, deux à deux, de manière à transmettre à deux essieux la surcharge momentanée de l'un;

5° Contre-poids appliqués aux roues accouplées, de manière à détruire complétement les forces perturbatrices de l'équilibre vertical.

Toutes ces conditions sont de nature à assurer une parfaite stabilité. On s'en rend compte facilement par la douceur d'allure qui est très-remarquable, surtout si on la compare à celle des autres machines, notamment des Engerth, employées dans des cas analogues.

Inconvénients de la nouvelle machine. Mais à côté des avantages théoriques que nous venons de signaler, des inconvénients sérieux ont fait l'objet de critiques que nous ne pouvons passer sous silence.

Unité du moteur. Tout d'abord, on se demande s'il est bien nécessaire d'avoir un moteur unique pour remorquer des trains dans des conditions exceptionnelles où deux machines réunies auraient fait le même service. Cette question délicate ne pourra être résolue que par une longue ex-

périence; en attendant nous croyons utile d'en bien préciser les termes, tout en faisant ressortir les moyens employés pour combattre les principales objections.

1° La machine coûte fort cher, et une réparation, sans importance, peut rendre pendant longtemps improductif un capital considérable.

Cette première objection n'en est pas une en réalité; car si le prix de la machine est très-élevé, elle doit rendre des services en conséquence. Il s'agit donc simplement de savoir si ces services sont de nature à permettre l'acquisition d'un moteur aussi dispendieux. C'est-à-dire que cette question est subordonnée aux suivantes :

Nous ferons observer d'ailleurs que le prix de la machine dépend plutôt de la perfection de son exécution que de ses organes spéciaux. Toutes les pièces ont été l'objet d'un soin particulier. Nous avons déjà dit que les métaux qui entrent dans la construction de la chaudière sont tous de première qualité; il en est de même pour les autres pièces. Les bandages des roues sont en acier fondu, les balanciers qui relient les essieux représentent des pièces de forge très-délicates; les tampons de butée du tender sont aussi en fer forgé; ils supportent des pivots en acier, jouant dans des crapaudines en bronze, et s'appuient contre des tampons en tôle trempée. L'essieu moteur coudé est en acier fondu, et les trois autres en fer de première qualité.

Tous ces matériaux excellents, mais fort chers, ont été traités avec les soins les plus minutieux. La maison André Kœchlin et compagnie voulait produire un modèle d'une parfaite exécution; il ne lui était pas difficile d'y parvenir; sa réputation ne laisse aucun doute à cet égard.

Le raisonnement auquel on peut se laisser entraîner

par le prix de la machine n'est donc pas logique. Car si l'on a exagéré les dépenses de construction, c'est dans le but de rendre les réparations moins fréquentes. Il n'est pas juste alors de considérer ces réparations comme entraînant la non utilisation d'un capital considérable.

2° L'unité de conduite peut être obtenue facilement avec deux machines adossées et dirigées par un seul et même mécanicien. Dès lors, les avantages du moteur unique, au point de vue de la consommation du combustible et du travail produit, disparaissent.

Il est certain que deux machines, conduites par un même mécanicien, auront une allure plus régulière que si elles étaient indépendantes. Mais on doit reconnaître qu'il est encore impossible d'obtenir alors de chacune d'elles une marche identique. Il y aura toujours contrariété dans les mouvements, et par suite perte de travail. La sécurité est d'ailleurs beaucoup plus grande lorsque le mécanicien n'a à manœuvrer qu'un seul régulateur et un seul levier au lieu de deux.

Nous ne reviendrons pas sur la consommation de combustible, dont nous avons parlé à propos de la description de la chaudière. Des praticiens supposent que cette consommation sera moindre dans un appareil unique que dans deux qui représenteraient ensemble la même surface de chauffe : l'expérience décidera la question.

3° Un moteur unique, à huit roues accouplées, fatigue plus la voie que deux moteurs indépendants, parce que ces huit roues, ne pouvant avoir mathématiquement le même diamètre et étant cependant animés de la même vitesse angulaire, ont une tendance au glissement.

Cette objection capitale pour les machines à essieux

rigides est beaucoup moins grave lorsque les essieux peuvent se déplacer transversalement. En effet, le glissement développe une force suffisante pour opérer ce déplacement, et chaque roue trouve d'elle-même sur la surface conique du bandage la position la plus favorable au roulement.

D'ailleurs, les bandages en acier fondu ont une très-faible usure, et le diamètre des roues reste, autant que possible, dans des conditions de rigoureuse égalité, maintenue d'ailleurs par la stabilité de la machine et l'égale répartition de la charge.

Dans sa disposition générale, la locomotive de montagne ne présente d'autre particularité que l'emplacement des cylindres avec une double commande pour chacun d'eux et le libre mouvement transversal des essieux. **Disposition générale.**

La double commande a été critiquée, non pas en principe, mais parce que son application a forcé de placer les glissières entre la traverse d'avant et les cylindres, c'est-à-dire à une place où elles seront forcément détruites dans un choc violent de machine à machine, ou de machine à wagon.

La réponse la plus naturelle à cette objection est que les machines ne sont pas construites pour se heurter entre elles, et que l'éventualité d'un accident très-rare ne doit pas faire renoncer à une disposition qui a son but utile. D'un autre côté, la plupart des chocs ont lieu dans les gares et sur les croisements, une machine prenant l'autre par le travers, écornant sa traverse et ployant l'un des longerons. Dans ce cas, la traverse d'avant, énergiquement armée, supporterait le choc, ou bien, l'un des longerons se ployant, les glissières, qui en sont complétement indépendantes, ne seraient pas lésées.

Le jeu des essieux, ou plutôt de leur boîte à graisse, dans les glissières, est assez considérable pour que l'on se demande s'il n'en résultera pas une usure très-rapide des différentes pièces soumises à des efforts variables et à des mouvements irréguliers.

Cette question paraît résolue depuis longtemps dans la pratique. En général, lorsqu'une machine, par sa construction et le tracé de la voie qu'elle parcourt habituellement, doit avoir un jeu quelconque dans ses essieux, si ce jeu n'a pas été ménagé dans l'origine, l'usure des pièces l'établit peu à peu, sans que les organes essentiels aient à en souffrir. Pour ne citer qu'un seul exemple, dans des machines à marchandises à six roues accouplées et à cylindres extérieurs, desservant l'embranchement de Dijon à Belfort, les essieux extrêmes ont pris naturellement, après quelques mois de parcours, un jeu transversal de 10 millimètres dans leurs boîtes à graisse. Il est donc plus rationnel de créer *à priori* le jeu nécessaire, et l'on n'a à craindre aucune altération sérieuse dans la transmission du mouvement.

La compagnie de Paris à Lyon l'a bien compris ainsi, et elle a fait transformer par MM. André Kœchlin et compagnie quelques-unes de ses machines qui doivent faire le service spécial de la ligne de Neufchâtel. A cet effet, un jeu de 20 millimètres a été ménagé aux fusées des essieux dans leurs boîtes à graisse respectives, et ceux-ci ont été reliés par des balanciers analogues à ceux que nous avons décrits.

Action sur la voie. — Usure des différentes pièces.

La théorie que nous venons d'exposer, quoique corroborée en partie par l'expérience, ne suffit pas pour faire apprécier le degré de flexibilité et de stabilité de la locomotive de montagne. C'est surtout l'usure des différentes pièces et l'action sur la voie qui doivent guider dans un examen de ce genre.

Deux modèles de cette locomotive, la *rampe* et la *courbe*, ont été construits par MM. André Kœchlin et compagnie. Ces machines ont fait des essais assez nombreux et un service assez prolongé (1) pour que l'on puisse tirer des conséquences des premiers résultats obtenus.

Les expériences faites sur le chemin Central suisse ont duré trop peu de temps pour que l'on puisse apprécier l'influence de la nouvelle machine sur la voie; toutefois, il est probable que, pendant trois semaines de marche régulière, elle aurait produit des détériorations appréciables dans des courbes de faible rayon, avec une largeur de voie inférieure de 11 millimètres à celle de la ligne pour laquelle elle avait été construite, si son système articulé ne lui avait permis de franchir, sans difficulté, tous les obstacles de cette nature.

Sur la ligne de la Méditerranée, après un parcours de 15.000 kil., les ingénieurs n'ont pu constater aucune détérioration de la voie, quoique chaque essieu soit chargé de près de 12 tonnes. Ils attribuent ce résultat, d'une part, à la double suspension (quatre ressorts par essieu); de l'autre, aux tampons verticaux à ressorts, reportant sur l'essieu d'avant du tender la surcharge de la boîte à feu, ce qui amortit ou absorbe les chocs que pourrait supporter l'essieu d'arrière de la machine. Enfin, au moment où la locomotive entre en courbe, elle trouve des ressorts pour amortir l'effet produit par le déplacement du centre de gravité.

L'usure des bandages, des différentes pièces de la transmission et de l'articulation est d'ailleurs peu im-

(1) La *courbe* avait parcouru 15.000 kil. en service régulier, sur le réseau de la Méditerranée, avant le 1er novembre; la *rampe* faisait le même service, après un essai de trois semaines, sur le Central-suisse, entre Olten et Sissach.

portante. Après le parcours indiqué de 15.000 kil., la *courbe* ayant dû entrer aux ateliers pour une minime réparation, on a profité de cette circonstance pour la visiter dans toutes ses parties.

Voici le résultat de cet examen :

Les bandages en acier fondu portaient au boudin une trace de frottement, mais sans usure ; il n'y avait encore qu'une faible apparence d'usure aux points de roulement, sur la largeur en contact avec le rail. Il était d'ailleurs à peu près impossible de distinguer sur laquelle des roues cette apparence était la plus prononcée. D'où il semble résulter que l'usure se répartirait également sur les roues de chaque essieu ; ce que l'auteur de la machine a cherché à obtenir, en répartissant les contre-poids sur toutes les roues accouplées.

Les pistons et les tiroirs étaient en parfait état, ainsi que les cylindres et les tables des tiroirs ; ce qui prouve le peu de fatigue éprouvé par la machine à la descente, grâce à la distribution dont nous avons parlé.

Les coussinets des boîtes à graisse et des bielles motrices, ainsi que les boutons sphériques des manivelles étaient intacts.

Les quatre pivots hémisphériques du bâti intérieur n'offraient d'autre trace de travail qu'une facette brillante, au point de contact avec la crapaudine.

Les glissières des tiges de pistons et leurs patins ne présentaient aucune usure ; d'où il résulte que l'inclinaison de l'effort des bielles motrices n'avait pas eu d'influence fâcheuse pour leur conservation.

Les boîtes à graisse seules avaient pris un peu de jeu dans leurs glissières respectives, et il avait été nécessaire de faire agir les coins de serrage.

Enfin, l'attelage de la machine et du tender avec ses tampons de butée et ses tampons verticaux n'avait nullement souffert.

Il résulte de ce que nous venons de dire, que la locomotive de montagne, après un parcours de 15.000 kil., n'avait subi aucune détérioration dans ses parties essentielles, qu'elle était dans des conditions normales et ne paraissait pas avoir eu d'action destructive sur la voie. Les premiers résultats viennent donc à l'appui de ce que nous avons avancé sur sa flexibilité et sa stabilité.

C'est surtout la puissance de la locomotive de montagne, que servent à démontrer les chiffres résultant des expériences déjà faites. Dans l'impossibilité de les citer toutes, nous nous contenterons de donner les résultats les plus remarquables. Puissance.

Le 21 mars 1860, la *courbe* a remorqué d'Olten au tunnel de Laüffelfingen (rampe de 25 millièmes) une charge brute de 161 tonnes, à la vitesse de 15 kil. à l'heure. Le poids des trains remorqués par les machines Engerth est de $87^t,5$ en marche normale.

Le 5 avril 1860, la même locomotive a remorqué de Sissach à Laüffelfingen (rampe de 20 millièmes) une charge brute de $247^t,4$ à la vitesse de $8^k,5$ à l'heure; le poids des trains remorqués normalement par les machines Engerth est de $137^t,5$.

Pendant dix jours consécutifs, du 4 au 14 août 1860, la même locomotive, la *courbe*, a remorqué sur la ligne de Nîmes à Alais des trains de marchandises dont le poids brut variait de 600 à 650 tonnes sur la rampe de 6 millièmes, et de 300 à 370 tonnes sur la rampe de 12 millièmes, en consommant moyennement de 16 à 20 kil. de houille par kilomètre. La vitesse a varié pendant cette expérience de 13 à 18 kil. à l'heure.

Il résulte des chiffres posés dans les pages précédentes, que la locomotive de montagne est construite pour développer un effort de traction de 6.757 kil. (remorqueur compris). Les expériences faites sur la ligne de la Méditerranée ont prouvé que l'effort variait de 7.000 à 9.000 kil. Mais c'est dans les environs du chiffre de 7.000 kil. que la machine a donné les résultats les plus utiles ; elle a pu remorquer 858 tonnes sur une rampe de 6 millimètres, mais alors la vitesse n'était que de 2 mètres par seconde, et le travail de 19.000 kilogrammètres environ, tandis qu'ayant une charge de 500 à 600 tonnes, elle développait sur la même rampe un travail de 28.000 à 30.000 kilogrammètres, avec une moindre consommation de combustible.

Les calculs de l'auteur sont donc justifiés par l'expérience. L'insuffisance de puissance, par rapport à l'adhérence, n'a été constatée que dans des conditions climatériques exceptionnelles; et, dans ce cas, pour utiliser l'adhérence totale, il suffirait de porter la pression de la vapeur de 7 à 9 atmosphères; ce qui, ainsi que nous l'avons dit, serait permis par la construction de la chaudière.

Les expériences que nous avons faites sur le chemin de fer Central-Suisse ont donné des résultats analogues à ceux qui viennent d'être mentionnés.

La consommation de combustible dans la locomotive de montagne est généralement aussi basse sur la ligne de la Méditerranée que celle des meilleures machines à marchandises. Il en est de même sur la ligne de Bâle à Olten.

Sur cette dernière ligne, la descente des rampes de 25 et 28 millimètres s'est opérée sans difficulté. Avec un train de 160 à 180 tonnes, il suffisait, pour être complétement maître de la vitesse, de serrer le frein du

tender et celui du fourgon de queue, sans enrayer les roues, pourvu que le levier de changement de marche fût au premier cran de la marche en avant, le régulateur légèrement ouvert de temps à autre. On a descendu de la même manière, c'est-à-dire avec un nombre de freins proportionné à l'importance du train, une charge de 825 tonnes sur une pente de 12 millimètres.

Tous ces résultats prouvent que la locomotive de montagne a atteint le but que s'était proposé M. Beugniot. Les premiers essais sont de nature à satisfaire les praticiens, et la théorie n'a rien à reprocher aux conceptions de l'auteur. L'expérience décidera l'importance que doit acquérir cette nouvelle machine sur les lignes à tracé très-accidenté.

BULLETIN.

DEUXIÈME SEMESTRE 1860.

MINISTÈRE DE L'AGRICULTURE, DU COMMERCE ET DES TRAVAUX PUBLICS.

DIRECTION GÉNÉRALE DES PONTS ET CHAUSSÉES ET DES CHEMINS DE FER.

BUREAU DE STATISTIQUE.

RECETTES DE L'EXPLOITATION DES CHEMINS DE FER FRANÇAIS.
ANNÉES 1860 ET 1859.

Recettes de l'exploitation des Chemins de fer français

NOMS DES CHEMINS.	1860 — Longueur totale exploitée au 31 décembre.	1860 — Longueur moyenne exploitée pendant l'année entière.	1860 — Recettes 1er trimestre.	1860 — Recettes 2e trimestre.	1860 — Recettes 3e trimestre.	1860 — Recettes 4e trimestre.	1859 — Longueur totale exploitée au 31 décembre.	1859 — Longueur moyenne exploitée pendant l'année entière.	1859 — Recettes 1er trimestre.	1859 — Recettes 2e trimestre.
Ancien réseau										
	kil.	kil.	fr.	fr.	fr.	fr.	kil.	kil.	fr.	fr.
Nord	967	967	14.159.228	14.221.819	15.924.434	16.250.266	966	951	12.713.986	13.14[illegible]
Est	954	954	9.745.572	11.169.315	12 862.310	11.951.874	954	932	9.274.414	10.15[illegible]
Ouest	900	900	10.020.500	11.857.494	13.470.935	11.419.698	900	900	9.582.136	11.[illegible]
Orléans	1.474	1.472	14.324.332	16 364 633	18.051.572	17.834.829	1.472	1.472	14.419.929	16.[illegible]
Paris-Méditerranée	1.411	1.411	21.495.032	23.866.335	27.012.657	29.410.724	1.411	1.393	20.755.260	27 [illegible]
Lyon à Genève	237	237	1.270.355	1.587.380	2.182.316	1.851.062	237	232	1.056.436	1.7[illegible]
Midi	796	794	4.924.958	5.475.009	6.324.043	6.800.216	794	794	4.295.069	5.250.[illegible]
Ceinture	17	17	444.649	400.035	394 378	476.480	17	17	392.212	[illegible]
Graissessac à Béziers	51	51	68.753	64.666	81.277	91.150	51	51	62.173	[illegible]
Bessèges à Alais	32	32	258.130	246.275	275.846	312.682	32	32	281.698	[illegible]
Anzin à Somain	19	19	95.399	90.405	95.831	107.234	19	19	69.949	[illegible]
Carmaux à Albi	15	15	52.395	53.967	39.394	43.304	15	15	46.639	47.2[illegible]
Totaux et moyennes	6.873	6.869	76.859.303	85.397.333	96.714.993	96.549.519	6.868	6.808	72.949.901	86.667.912
Nouveau réseau										
Nord	30	12	»	7.084	30.844	46.087	»	»	»	»
Est	726	723	4.186.254	4.293.648	4.671.081	4.843.577	697	697	4.171.492	4.313.240
Ardennes	164	164	788.235	871.402	983.031	1.017.303	164	158	702.135	[illegible]
Ouest (1)	312	306	862.615	1.072.773	1.231.280	964.705	294	284	566.515	858.771
Orléans	460	384	891.367	1.133.095	1.203.655	1.280.224	359	284	540 423	[illegible]
Paris-Méditerranée	526	489	4.058.329	4.105.765	5.009.763	5.658.678	464	460	3.169.062	4 [illegible]
Dauphiné	129	129	522.031	651.558	809.796	756.834	129	129	465.184	[illegible]
Midi	99	99	105.889	164.061	287.655	184.433	99	31	»	»
Totaux et moyennes	2.446	2.306	11.414.720	12.299.386	14.226.580	14.751.891	2.206	2.043	9.614.811	11.541.[illegible]
Récapi[tulation]										
Ancien réseau	6.873	6.869	76.859.303	85.397.333	96.714.993	96.549.519	6.868	6.808	72.949.901	86.667.912
Nouveau réseau	2.446	2.306	11.414.720	12.299.386	14.226.580	14.751.891	2.206	2.043	9.614.811	11.541.[illegible]
Ensemble	9 319	9.175	88.274.320	97 696.719	110.941.573	111.301.410	9.074	8.851	82.564.712	98.209.[illegible]

(1) Y compris 294 kilomètres pour la section de Caen à Cherbourg et les embranchements du Mans à Mézidon, de Coulibœuf à Falaise et de Lison à Saint-Lô qui feront partie de l'ancien réseau à partir du 1er janvier 1863.

Années 1860 et 1859.

1859 (*Suite*). RECETTES 3e trimestre.	4e trimestre.	TOTAL de l'année. 1860.	1859.	DIFFÉRENCE en plus. 1860.	1859.	PAR KILOMÈTRE, RECETTE totale 1860.	1859.	DIFFÉRENCE de 1860 sur 1859, totale en plus.	en moins.	pour cent en plus.	en moins.
…eau.											
fr.	fr.	fr.	fr.	fr.	fr.	fr.	fr.	fr.	fr.		
.051.038	16.122.133	60.555.747	57.032.262	3.523.485	»	62.622	59.971	2.651	»	4,42	»
.251.068	11.097.110	45.729.071	41.786.237	3.942.834	»	47.934	44.835	3.099	»	6,91	»
324.083	11.664.989	46.768.627	45.870.821	897.806	»	51.965	50.968	997	»	1,96	»
.768.973	17.738.113	66.575.366	65.366.914	1.208.452	»	45.227	44.407	820	»	1,85	»
.965.132	27.147.824	101.784.748	101.689.470	95.278	»	72.137	73.000	»	863	»	1,20
1.997.519	1.764.091	6.891.113	6.542.321	348.792	»	29.076	28.200	876	»	3.11	»
5.433.198	5.283.409	23.524.226	20.262.082	3.262.144	»	29.553	25.519	4.034	»	15,81	»
335.114	493.320	1.715.542	1.562.212	153.330	»	100.914	91.895	9.019	»	9,81	»
82.300	97.171	305.846	330.369	»	24.523	5.997	6.478	»	481	»	7,43
271.119	267.125	1.092.933	1.099.789	»	6.856	34.154	34.368	»	214	»	0,62
85.612	107.706	388.869	329.599	59.270	»	20.467	17.347	3.120	»	17,99	»
33.187	44.331	189.060	171.402	17.658	»	12.604	11.427	1.177	»	10,30	»
0.598.343	91.827.322	355.521.148	342.043.478	13.509.049	31.379	51.757	50.241	1.516	»	3,02	»
				+ 13.477.670							
…seau.											
»	»	84.015	»	84.015	»	7.001	»	»	»	»	»
4.603.634	4.480.317	17.994.560	17.568.683	425.877	»	24.889	25.206	»	377	»	1,26
872.846	924.118	3.659.976	3.287.712	372.264	»	22.317	20.808	1.509	»	7,25	»
1.043.175	982.433	4.131 373	3.450 894	680.479	»	13.501	12.151	1.350	»	11,11	»
778.606	901.342	4.508.241	2.910.106	1.598.235	»	11.740	10.247	1.493	»	14,57	»
4.241.910	5.117.463	18.832.005	16.737.681	2.094.324	»	38.511	36.366	2 125	»	5,84	»
729.432	611.009	2.740.269	2.487.348	252.921	»	21.242	19.282	1.960	»	10,16	»
36.006	107.939	742.038	143.945	598.093	»	7.404	4.643	2.761	»	59,47	»
12.305.609	13.124.621	52.692.577	46.586.369	6.106.208	»	22.850	22.803	47	»	0,21	»
…TULATION.											
90.598.343	91.827.322	355.521.148	342.043.478	13.477.670	»	51.757	50.241	1.516	»	3,02	»
12.305.609	13.124.621	52.692.577	46.586.369	6.106.208	»	22.850	22.803	47	»	0,21	»
102.903.952	104 951.943	(a) 408.213.725	(a) 388.629.847	19.583.878	»	44.492	43.908	584	»	1,33	»

OBSERVATIONS.

Voir les observations à la page suivante.

Nota. Les comptes des 4 trimestres de 1860 n'étant pas encore définitivement arrêtés, les chiffres qui se rapportent à cette période peuvent être susceptibles de quelques modifications.

OBSERVATIONS.

Les sections ouvertes du 1er janvier au 31 décembre 1860, ont une étendue de 245 kilomètres, savoir :

1° Ancien réseau.

Nord.

Raccordement de Maubeuge, 1er janvier 1860.		1
Orléans.		
Raccordement des gares à Bordeaux, 27 octobre.		2
Midi.		
Raccordement des gares à Bordeaux, 27 octobre.		2
Total pour l'ancien réseau.		5

2° Nouveau réseau.

Nord.

Paris à Sevran, 8 juin.	14	30
Lens à Ostricourt, 16 octobre.	16	
Est.		
Port d'atelier à Aillevillers-Plombières, 4 février.		29
Ouest.		
Lison à Saint-Lô, 1er mai.		18
Orléans.		
Périgueux à Brives, 17 septembre.	72	101
Saint-Cristhophe à Rodez, 5 novembre.	29	
Paris à Lyon et à la Méditerranée.		
Pontarlier à la frontière suisse, 24 juillet.	11	62
Moret à Montargis, 13 août.	51	
Total pour le nouveau réseau.		240
Ensemble.		245
Longueur exploitée au 31 décembre 1859.		9,074
Longueur exploitée au 31 décembre 1860.		9,319

(a) Déduction faite des détaxes et non compris l'impôt du dixième, qui s'élève :

Pour l'année 1860, à	20,787,268
— — 1859, à	20,201,296

Addition et rectification à la note sur les machines du système Engerth modifié, insérée à la page 461 du tome précédent.

Cette note contient une erreur de fait, qu'il est bon de rectifier et d'expliquer. D'après la description erronée déjà citée (tome XVII, note de la page 471), donnée par un ouvrage spécial (1), cet essieu serait chargé directement par les longerons de la machine, tandis qu'il l'est par l'intermédiaire des longerons du tender, comme on le voit sur les *fig.* 73 et 74, Pl. VII.

Les longerons du tender ne sont donc pas en *porte-à-faux*, comme je l'avais indiqué; ils ne reposent pas davantage *sur le châssis de la machine*, comme l'indique le *Guide du mécanicien*; ils reposent, au contraire, sur des appuis qui sont, suivant la verticale, *complétement indépendants de ce châssis*, c'est-à-dire immédiatement sur les ressorts du quatrième essieu, sur lequel ce châssis ne s'appuie nullement.

Il est évident d'ailleurs que cette erreur n'affecte en rien les conséquences, déduites de la comparaison :

1° Des pesées de la machine, accouplée et découplée;

2° Et surtout du service des machines accouplées, et des machines découplées et convenablement lestées. (Observations de M. Vuillemin, tome XVIII, page 459.)

Cette rectification fait même ressortir bien plus nettement les inconvénients de l'accouplement appliqué à la machine à quatre essieux invariables, et les motifs de la supériorité,

---

(1) D'après le *Guide du mécanicien conducteur de locomotives*, 2e édition, page 279, « les longerons du tender reposent sur *le châssis* de la machine; » d'où il résultait nécessairement que ce châssis lui-même reposait sur le quatrième essieu rigide, comme sur les trois premiers. — D'ailleurs, les deux trains devant necessairement conserver leur indépendance mutuelle, suivant la verticale (indépendance si soigneusement reservée par M. Engerth dans le mode d'articulation), et cette indépendance étant incompatible avec l'application permanente du premier train sur le second, on était conduit logiquement au porte-à-faux. — Cela soit dit pour expliquer une méprise dont la moralité est, qu'en pareille matière, il faut ne consulter que des descriptions exactes (*). Cela explique aussi ce fait au moins singulier au premier abord, qu'une inexactitude énoncée dans l'article inséré au Tome XVI, 1859, p. 141, n'ait pas été relevée par les réponses à cet article, publiées dans le tome XVII, 1860, pages 431 et suivantes.

(*) Celle que donne M. Perdonnet, dans la deuxième édition de son *Traité des chemins de fer*, est très-exacte ; mais ce n'est pas elle qui m'était tombée sous la main.

incontestablement établie maintenant par la pratique, de la machine découplée sur la machine dans son état primitif.

En effet :

1° *A l'état statique :*

Le quatrième essieu de la machine supporte, outre une partie variable à volonté entre certaines limites, du poids du tender et de son approvisionnement, *nécessairement* plus des $\frac{2^m,10}{3^m,05} = 0,7$ de la pression P appliquée par la chaudière sur les longerons du tender (1).

Ce qui explique comment il se fait que les quatre paires de roues *rigides*, ou de la machine, portent, au *repos* :

I° Dans la machine accouplée et garnie	d'après le constructeur . .	(tableau autographié du Creuzot).	40.310^k	1
	d'après M. Chobrzinski (1)	avec approvisionnement *complet* . . .	40.300^k	2
		avec approvisionnement *moyen*. . . .	39.215^k	3
II° Dans la machine découplée et garnie	d'après M. Chobrzinski (2)	*id.*	40.385^k	

C'est-à-dire que les roues du tender, ou du train articulé ne porteraient *absolument rien* du poids de la machine, d'après les chiffres 1 et 3 ; et si l'on part des chiffres 2 et 3, elles portent 1.170 kil., soit $\frac{1.170}{40.385} = \frac{1}{35}$ de ce poids.

2° *En marche :*

Rappelons avant tout, pour éviter toute équivoque, qu'il s'agit de machines : 1° à petite vitesse ; 2° auxquelles le parallélisme de quatre essieux et leur absence de mobilité transversale interdisent absolument le parcours des lignes à petits rayons. En dehors de ces conditions, c'est-à-dire pour les machines à voyageurs et pour celles qui sont destinées aux chemins à petits rayons, nous admettons parfaitement et nous avons toujours admis la nécessité de supprimer le porte-à-faux de la boîte à feu. Mais alors il ne s'agit pas de machines à quatre essieux couplés, fixes, et à empatement de $3^m,95$.

---

(1) La répartition de cette charge entre le quatrième essieu *a* de la machine et les deux essieux *b*, *c* du tender est indéterminée, et le *minimum* de charge de l'essieu *a* correspond évidemment à la répartition pour laquelle le contingent de l'essieu extrême *c* est nul.

(2) *Annales des mines*, page 433.

(3) *Annales des mines*, page 434.

Cette influence de la vitesse résulte uniquement des inévitables imperfections de la voie, qui présente une série d'ondulations verticales, de *bosses*, et dont le bourrage, et par suite le degré de compressibilité, varient d'un point à l'autre. Il en résulte que la ligne des centres des roues se déforme à chaque instant, et si ces roues sont chargées par des ressorts indépendants (sans balanciers), à ces déformations correspondent des variations plus ou moins considérables des réactions des ressorts.

A petite vitesse, ces variations se succèdent lentement; il n'en résulte pour la chaudière que des oscillations d'une très-faible amplitude. Les ressorts remplissent leurs fonctions sous elle, pour ainsi dire sans que son allure se ressente des inégalités de la voie, tandis que les roues les suivent fidèlement. *A grande vitesse*, les variations des réactions des ressorts sur la chaudière sont plus brusques, elles se succèdent plus rapidement, leurs effets se superposent, et elles impriment à la chaudière de très-grandes oscillations, si elle est trop libre sur une base trop courte. Les forces d'inertie de la chaudière réagissent elles-mêmes sur les ressorts, augmentent leurs variations de tension, et le mal s'accroît ainsi par ses propres effets. Alors, je le répète, le porte-à-faux devient inadmissible; il faut le faire disparaître en vue d'un intérêt tout à fait capital, et dût-il en résulter d'autres inconvénients. Mais alors, encore une fois, ce n'est plus de machines à huit roues couplées, de $1^{m},26$ de diamètre et sans mobilité transversalement à la voie, qu'il s'agit.

Restons donc dans les conditions de la question, la vitesse étant de 25 à 35 kil., et voyons comment les irrégularités de profil et de compressibilité de la voie influent, non sur l'allure de la chaudière, hors de cause à de telles vitesses (le service des machines découplées de l'Est le prouve surabondamment), mais sur la répartition de la charge entre les essieux. — Pour une machine à quatre roues, ces irrégularités ne modifient pas la répartition (la chaudière n'oscillant pas sensiblement), tant qu'elles affectent à la fois les deux roues conjuguées. Mais si la machine a six roues ou plus, les variations des réactions des ressorts entraînent, non plus, comme à grande vitesse, des oscillations de la chaudière, mais des variations de la répartition statique d'autant plus considérables que les ressorts de suspension ont une moindre flexibilité.

La machine à huit roues couplées qui nous occupe, ayant

les deux roues intermédiaires d'un même côté chargées par un ressort commun, est, à cet égard, dans les mêmes conditions qu'une machine à six roues, pourvu qu'elle soit attelée à un tender indépendant (t. XVII, Pl. VI, *fig.* 4, 5, 6). Mais, avec l'accouplement, la situation change du tout au tout.

Alors, sous l'influence des causes indiquées tout à l'heure, les deux véhicules réagissent mutuellement sur leurs répartitions et les troublent singulièrement, l'accouplement ajoutant aux causes de perturbation qui affectent les deux véhicules indépendants, des causes nouvelles, inhérentes à leur liaison. — Si l'essieu *a* de la machine (Pl. VII, *fig.* 73) s'élève en franchissant une *bosse* de la voie, les autres centres restant en ligne droite, la charge du premier augmente d'autant plus qu'une partie de la charge de l'essieu *b* du tender se reporte sur lui. Un effet analogue a lieu si c'est *b* qui se dérobe. Si les deux effets coexistent, *a* franchissant une bosse et *b* une dépression, ils s'ajoutent, et les roues de la machine, les roues rigides, ont alors à supporter, non-seulement la presque totalité du poids de la machine, mais aussi une partie plus ou moins considérable du poids du tender lui-même et de son approvisionnement.

p représentant la partie de la charge de *b* qui se répartit entre *a* et *c*, pour une certaine dénivellation de *b* relativement à *a*, le surcroît de charge de ce dernier est $\frac{p \times 1,70}{1,70 + 3,05}$ (1) $= 0,36\,p$. Or, comme on l'a vu, d'après les pesées du Nord, les roues du tender portent seulement 1.170 kil. de la machine. La totalité du poids de la machine sera donc ramenée sur ses essieux si l'on a : $0,36\,p = 1.170$ kil. d'où : $p = 3.250$ kil. Or, d'après M. Chobrzinski (t. XVI, p. 435) la charge statique normale de la paire de roues *b*, est : 10.900 kil., le tender portant seulement 4.000 tonnes, chiffre qui atteint 6.000 à l'Est. Mais tenons-nous en aux chiffres du Nord. Les roues de la machine porteront donc *plus* que son poids, si la pression sur rails de la paire de roues *b* diminue par suite de sa dénivellation, de plus de $\frac{3.250}{10.900}$, c'est-à-dire de 1/3.

Une telle réduction se produit-elle sous l'influence des inégalités de la voie, entraînant *des mouvements contraires* de *a* et de *b*? Qu'on examine une machine sur les bascules, qu'on observe les variations énormes introduites dans la répartition

(1) Voir pour l'ensemble, la *fig.* 9, Pl. I, t. XVI, 1859.

par un petit mouvement des écrous d'une seule paire de roues, et on sera fixé sur l'extrême sensibilité d'une répartition opérée par l'intermédiaire de ressorts aussi rigides que le sont nécessairement ceux des locomotives, et sur l'étendue des limites entre lesquelles peut varier la pression sur rails d'une paire de roues sous l'influence des inégalités de la voie (1).

Partons d'un autre fait :

D'après une pesée faite à l'Est, du tender séparé de la machine et contenant 5.000 kil. de houille, la paire de roues :

b porte. . . . . . . 8.140 kil.
et *c* 15.504

Il résulte de cette répartition que le centre de gravité général du tender et de sa charge est à $0^m,59$ en avant de l'essieu *c*. La paire de roues montées pesant 1.200 kil., le centre de gravité du poids suspendu (21.244 kil) est à $0^m,56$ en avant de *c*. Dès lors, si la dénivellation de *b* relativement à la ligne *ab* était telle que *b* ne portât plus rien, le tender ferait porter à l'essieu *a* de la machine 2.500 kil. de son propre poids.

Si les choses ne vont pas jusque-là, de combien s'en faut-il?

C'est là une conséquence assez curieuse d'une disposition appliquée dans le but de soulager les essieux de la machine; mais cet effet de l'accouplement n'est pas le plus grave, tant s'en faut. Il l'est bien autrement pour le tender, dont les deux paires de roues sont tour à tour soumises à des surcharges énormes, qui expliquent parfaitement l'écrasement si fréquent des bandages du tender, de ceux d'avant surtout, et le rapport bien plus défavorable pour cette catégorie de machines que pour toutes les autres, entre le parcours total des bandages du tender et celui des bandages de la machine (34.140 kilom. contre 61.420 kilom.).

Que *b* s'élève sur une bosse de la voie tandis que *c* franchit une dépression, les longerons du tender tendent alors à basculer autour de *b* en soulevant la chaudière; *a* ne porte presque plus, *b* est soumis à une charge excessive.

Mais la situation est bien pire encore, quand *a* et *c* fléchissent en même temps. Les longerons du tender se trouvent bien et dûment alors dans les conditions indiquées d'un levier de romaine, tendant à osciller autour de l'essieu *b*, et avec cette circonstance singulièrement aggravante que P atteint 13 tonnes

(1) Voir plus bas, page 649.

environ. A la limite, l'essieu *b* aurait à supporter et le poids suspendu (21.244 kil.) du tender et la charge P (13.000 kil. environ) qui, agissant respectivement avec des bras de levier de 1^m,15 et 2^m,10, ont des moments sensiblement égaux relativement à *b*.

Cette limite extrême n'est pas atteinte, sans doute. Mais où s'arrête la surcharge de *b*?

— Que *b* fléchisse à son tour, et c'est *c* qui, à son tour aussi, est surchargé, le poids suspendu du tender se décomposant presque uniquement entre cet essieu et l'essieu *a* de la machine. Ainsi, en reprenant l'exemple précédent, on aurait à la limite :

1° Pour surcroît de charge sur *a*, 2.500 kil.,

2° Et pour la charge de *c*. . . . . 18.744 kil., non compris le poids de l'essieu et des roues.

Il est inutile d'analyser plus longuement ces perturbations qui vont d'ailleurs, comme le remarque M. Vuillemin, aujourd'hui ingénieur en chef du matériel et de la traction (t. XVII, page 459), jusqu'à appliquer les traverses des longerons du tender sur la chaudière et à paralyser complétement l'articulation !

Objectera-t-on que la machine Engerth, proprement dite, c'est-à-dire *à essieux mobiles encadrant la boîte à feu*, est sujette aux mêmes effets? Cette objection tomberait d'elle-même. Dans la machine Engerth, l'essieu placé en avant du foyer appartient, non à la machine mais au tender. Il ne peut être chargé directement par le châssis de la machine, puisqu'il est mobile et que cette mobilité est le but! de plus le tender soulage toujours les essieux de la machine; il les soulage sérieusement, *de la totalité du poids* P *appliqué sur ses longerons*, et il ne les charge jamais !

Voici donc, en somme, les conséquences de l'accouplement.

1° A l'état de repos (ou en marche lorsque la répartition n'est pas sensiblement altérée par les inégalités de la voie), on ne reporte sur les roues du tender qu'une *fraction tout à fait insignifiante* (1/35 à 1/37) du poids de la machine.

2° On n'améliore nullement la stabilité, puisque les machines découplées sont non-seulement *aussi* stables mais *plus* stables que les machines accouplées (M. Vuillemin, t. XVII, page 459).

3° Sous l'influence des inégalités de la voie, cet insignifiant soulagement apporté par les roues du tender aux roues de la machine disparaît passagèrement, et les roues de la machine

arrivent même à porter une partie du tender et de sa charge.

4° Les roues du tender sont soumises alternativement à des surcharges *énormes*, trop bien confirmées par la rapide destruction de leurs bandages (M. Vuillemin), et non moins destructives de la voie. (Voir ci-après, page 649.)

5° On augmente beaucoup la roideur du système dans les courbes, *et cela d'autant plus que l'articulation est beaucoup moins flexible que celle de l'Engerth proprement dite*, puisqu'aux glissements des supports de la boîte à feu sur les longerons, s'ajoutent ceux qui ont lieu sûr les glissières intercalées entre les longerons du tender et les ressorts, *rendus fixes*, de l'essieu d'arrière de la machine. (S'il y a un fait bien établi à l'Est, c'est que les machines accouplées sont de beaucoup les plus rigides de toutes, y compris les *Crampton*, qui ont cependant un plus grand empatement d'essieux fixes, 4^{m},50 au lieu de 3^{m},95. — Les déraillements de machines accouplées étaient si fréquents et leurs conséquences si graves pour la régularité du service, qu'un ordre de la compagnie a interdit rigoureusement toute manœuvre avec ces machines.)

6° On rend le refoulement beaucoup plus difficile en courbe, le tender, poussé seulement par le pivot, c'est-à-dire par un seul point, fort excentrique, tendant *à se coincer* obliquement sur les rails.

7° On réduit considérablement le parcours annuel des machines, et on augmente dès lors dans le même rapport l'effectif nécessaire pour un trafic donné.

Et tout cela en vue de remédier à des inconvénients tout à fait imaginaires à petite vitesse, c'est-à-dire aux oscillations de la chaudière, et sous prétexte d'assurer la permanence de la répartition, tandis qu'on ne fait qu'aggraver singulièrement les perturbations qui résultent pour elles des inégalités de la voie (1) !

Affranchis de cette dépendance mutuelle, la chaudière et le

(1) Il est bon de remarquer en passant que les réactions indiquées des deux véhicules l'un sur l'autre ne peuvent se produire dans la disposition adoptée par M. Beugniot, la boîte à feu ne s'appuyant sur l'essieu antérieur du tender que par l'intermédiaire de deux petits ressorts auxiliaires *ad hoc*, d'une grande flexibilité (0^{m},02 par tonne). De plus le tender ne peut que soulager les essieux de la machine ; il ne leur fait jamais payer ce bon office en les chargeant à son tour. Évidemment, si on jugeait nécessaire de gêner la tendance aux oscillations verticales et horizontales, de la chaudière, il n'y aurait pas autre chose à faire que d'imiter cette disposition. Mais en dehors des courbes de très-petits rayons qui réclament impérieusement pour une machine à huit roues couplées des expédients analogues à ceux de MM. Beugniot, Polonceau (machines à osselets) ou Caillet, la crainte des oscillations est purement chimérique pour une machine à petite vitesse, et il est impossible de la mettre sérieusement en avant en présence de l'expérience de tous les jours.

tender (débarrassé de son énorme excès de longueur) s'inclinent librement suivant le profil de la voie, en le serrant, pour ainsi dire, d'aussi près que possible, et les essieux restent soumis seulement aux causes de surcharge inhérentes à chacun des véhicules isolément, et nulles dès lors pour le tender, porté par deux essieux.

Répétons-le : pour M. Engerth, il s'agissait d'avoir non un quatrième essieu *couplé*, mais un quatrième essieu *mobile*. Sa disposition était donc logique. Mais dès qu'on rend cet essieu rigide, il n'y a évidemment (la question de stabilité étant si complétement tranchée maintenant par l'expérience) pas autre chose à faire que de profiter de cette rigidité pour appliquer immédiatement à cet essieu, comme aux trois autres, ce qu'il doit, en définitive, supporter. On fait fort bien assurément de rendre fixe et de coupler ce quatrième essieu, quand le tracé du chemin le permet; mais alors le motif déterminant de la connexion a disparu ; elle n'a plus que des inconvénients, sans la moindre compensation.

P.-S. Trois machines découplées et lestées (1) fonctionnent maintenant sur le réseau de l'Est; elles donnent d'excellents résultats. M. Vuillemin citait (tome XVII, page 460) le chiffre du parcours de la première machine découplée (n° 0,172) pendant une année. Il s'élevait à 9 p. 100 de plus que le parcours moyen pendant la même année, des machines accouplées du même réseau : ce qui s'expliquait facilement par les causes de dérangements et de chômages, inhérentes à l'articulation, et à la solidarité. — Depuis, cette machine a continué son service sans interruption, *sans être entrée en réparation :* elle en est maintenant au chiffre de 53.426 kil. en dix-huit mois, c'est-à-dire sur le pied de 35.618 kil. par an, tandis que le parcours moyen des machines accouplées en 1860 a été de 23.448 kil. La seconde machine découplée (0,182), en service depuis six mois, a parcouru aujourd'hui 19.693 kil. (2).

Ces faits en disent assez.

S'il y a une question sur laquelle l'expérience, et l'expérience comparative, doive juger en dernier ressort, c'est à coup sûr quand il s'agit de prononcer entre deux types de machines locomotives. En présence des résultats acquis, toute dissertation

---

(1) Le lest pèse.	3.862	Total. .	5.667 kil.
Les pièces additionnelles (longerons, etc.).	1.805		
A déduire : pièces supprimées.			1.284
Accroissement de poids de la machine.			4.383

(2) La troisième, (0,179), mise en service seulement au mois de février 1861, n'a parcouru encore (avril) que 8.000 kil.

pour ou contre la transformation serait oiseuse : — *Pour*, qu'ajouterait-elle aux faits? *Contre*, que leur ôterait-elle?

— Les observations présentées plus haut, sur les surcharges énormes résultant de la liaison, viennent d'être confirmées d'une manière remarquable par une expérience intéressante faite à Nancy, au moyen de la bascule à huit ponts établie spécialement pour les machines découplées. — La locomotive accouplée (0,170), garnie, ayant l'essieu d'arrière *a* et les essieux *b* et *c* du tender placés sur les bascules, on équilibra. Puis :

I° On plaça sous chacune des roues *a* une cale en fer de 0^m,015. Voici les perturbations produites par cette dénivellation :

	kil.	
1° La charge de la paire de roues *a* s'est accrue de	3.610	En partie par suite de la réduction de charge des roues intermédiaires de la machine.
2° La charge de la paire de roues *b* a diminué de	2.400	
3° La charge de la paire de roues *c* a augmenté de	1,180	
II° Avec une cale semblable sous chacune des roues *b*, la charge de cet essieu a augmenté de	5.220	Surcharge due *uniquement à la liaison*.
III° Avec une cale semblable sous la roue droite seulement de la paire *b*, le surcroît de charge de *cette roue* s'est élevé à.	4.470	
Tandis que la charge de la roue conjuguée diminuait de	1.880	

COUCHE.

Minéraux des filons métallifères de Freiberg ; par Bernhard von Cotta (1).

(Extrait par M. Delesse.)

Je me suis proposé de comparer la composition minéralogique des filons métallifères de Freiberg. Ce travail a été exécuté avec l'aide des nombreux documents qu'on possède sur ce sujet et avec le concours d'un de mes élèves, M. Weiss. Il est résumé par le tableau suivant qui donne la composition minéralogique de nos quatre systèmes de filons métallifères. Les minéraux les plus fréquents y sont inscrits en caractères italiques.

(1) Die mineralien der Freiberger Erzgange zusammengestellt, von C. Weiss, mit Bemerkungen von B. Cotta. — Berg und Hüttenmannische Zeitung de 1860.

Numéros d'ordre.	I. QUARTZ RICHE. (Edle quarz formation).	Numéros d'ordre.	II. PYRITE ET PLOMB. (Pyritische bleiformation).	Numéros d'ordre.	III. PLOMB RICHE. (Edle bleiformation).	Numéros d'ordre.	IV. BARYTE ET PLOMB. (Baritische bleiformation).
1	*Quartz.*	1	*Quartz.*	1	*Quartz.*	1	Quartz.
		2	Opale.	2	Opale.	2	Opale ou hornstein.
						3	*Chaux fluatée.*
						4	*Baryte sulfatée.*
2	Chaux carbonatée.	3	Chaux carbonatée.	3	Chaux carbonatée.	5	Chaux carbonatée.
3	Dolomie.	4	Dolomie.	4	Dolomie.	6	Dolomie.
4	Spath perlé (chaux carbonaté ferromanganésifère.)	5	Spath perlé.	5	Spath perlé.	7	Spath perlé.
				6	Chaux carbonatée magnésifère	8	Chaux carbonatée magnésifère
5	Fer spathique.	6	Fer spathique.	7	Fer spathique.	9	Fer spathique.
6	Manganèse carbonaté.	7	Manganèse carbonaté.	8	*Manganèse carbonaté.*		
		8	Chlorite.				
7	Galène.	9	*Galène.*	9	*Galène.*	10	*Galène.*
8	Bournonite.						
9	Polybasite.	10	Polybasite.	10	Polybasite.	11	Polybasite.
10	Argent antimonié sulfuré noir.			11	Argent antimonié sulfuré noir.	12	Argent antimonié sulfuré noir.
		11	Argent sulfuré.	12	Argent sulfuré.	13	Argent sulfuré.
				13	Weisgiltigerz.		
11	Cuivre gris.	12	Cuivre gris.	14	Cuivre gris.	14	Cuivre gris.
		13	Cuivre panaché.				
12	Pyrite de cuivre.	14	Pyrite de cuivre.	15	Pyrite de cuivre.	15	Pyrite de cuivre.
13	Pyrite arsenicale.	15	*Pyrite arsenicale.*	16	Pyrite arsenicale.		
14	Marcassite (sperkiese.)	16	*Marcossite.*	17	Marcassite.	16	Marcassite.
15	Pyrite de fer.	17	Pyrite de fer.	18	Pyrite de fer.	17	Pyrite de fer.
16	Blende.	18	*Blende.*	19	*Blende.*	18	Blende.
17	Kermès.						
18	Pyrargyrite (argent antimonié sulfuré).	19	Pyrargyrite.	20	Pyrargyrite.	19	Pyrargyrite.
						20	Proustite(arseniksilberblende)

Si l'on cherche maintenant quels sont les éléments chimiques des quatre systèmes de filons métallifères de Freiberg on aura le tableau ci-dessous. Les éléments y sont à peu près ordonnés d'après leur fréquence ; ceux qui se trouvent en tête de la liste sont les plus abondants, mais il y a quelque incertitude pour classer ceux qui sont au milieu. Quoique l'oxygène, l'hydrogène, le carbone jouent un rôle très-important, ils ont été placés à la fin, comme n'étant pas caractéristiques.

I.	II.	III.	IV.
Si.	Si.	Ca.	Ba.
S.	S.	Si.	Si.
Fe.	Fe.	S.	Ca.
As.	Zn.	Pb.	Fl.
Pb.	Pb.	Fe.	S.
Zn.	Cu.	Zn.	Pb.
Sb.	As.	As.	Zn.
Ca.	Ca.	Cu.	Cu.
Cu.	Ag.	Ag.	Fe.
Ag.	Mg.	Mn.	As.
Mn.	Mn.	Mg.	Sb.
Ba.	Al.	Ba.	Mg.
Fl.	Sb.	Fl.	Ag.
St.	Ba.	Al.	Mn.
Mg.	Fl.	Sb.	Ni.
Al.	Cl.	Cl.	Co.
Ph.	Ph.	Pb.	Al.
Bi.	Co.	Ur.	Ph.
Au.	Sn.	Ca.	Cl.
Cd. ?	Ca.	Au.	Bi.
O.	Au.	O.	Wo.
H.	O.	H.	Ti.
C.	H.	C.	Ur.
	C.		Au. ?
			Ca. ?
			Se. ?
			O.
			H.
			C.
Somme 23	24	23	29

En réunissant en une seule série alphabétique tous ces éléments des quatre systèmes de filons, on obtient le tableau suivant en regard duquel ont été marqués les éléments qui manquent.

Éléments			
Trouvés.		Non trouvés.	
Aluminium.	Magnésium.	Azote.	Osmium.
Argent.	Manganèse.	Bore.	Palladium.
Antimoine.	Nickel.	Brome.	Platine.
Arsenic.	Or.	Cerium.	Potassium.
Barium.	Oxygène.	Chrome.	Rhodium.
Bismuth.	Plomb.	Didyme.	Ruthénium.
Carbone.	Phosphore.	Erbium.	Sodium.
Calcium.	Sélénium.	Glucium.	Tantale.
Cadmium.	Silicium.	Iridium.	Tellure.
Chlore.	Soufre.	Iode.	Terbium.
Cobalt.	Strontium.	Lanthane.	Thorium.
Cuivre.	Titane.	Lithium.	Vanadium.
Etain.	Tungstène.	Mercure.	Yttrium.
Fer.	Uranium.	Molybdène.	Zirconium.
Fluor.	Zinc.	Niobium.	
Hydrogène.			

Les tableaux qui précèdent mettent bien en évidence la grande différence qui existe entre la composition chimique des filons de Freiberg et celle de la plupart des roches. La potasse et la soude y manquent complétement et l'alumine ne s'y rencontre qu'en très-petite quantité. N'est-on pas en droit de conclure de ce fait seul que leur mode de formation n'est pas le même que celui des roches éruptives non plus que des roches sédimentaires et métamorphiques?

DES MACHINES LOCOMOTIVES

A HUIT ROUES COUPLÉES.

LEUR STABILITÉ, LEURS EFFETS SUR LA VOIE.

Par M. FLACHAT.

Avant de nous occuper des questions générales engagées dans la discussion qui s'est produite sur le système de construction des machines Engerth, type du Creusot, à huit roues couplées, nous tenons à mettre en dehors du débat un fait qui, au lieu de garder les proportions d'un mal-entendu, semble être resté la base entière et unique de la critique que ce type de machine a encourue.

Nous reproduirons d'abord textuellement l'argument qui nous est opposé :

« Avec la disposition des machines de l'Est et du Nord, toute pression sur les platines, résultant, soit du réglement des ressorts dans la machine au repos, soit des oscillations et des inégalités du profil de la voie pendant la marche, entraîne, sur l'essieu antérieur du tender, un *surcroît* de pression *plus que double*.

« Pour chaque kilogramme appliqué par la boîte à feu sur les platines des longerons, c'est-à-dire à $2^{m},05$ de l'axe de l'essieu antérieur du tender, celui-ci reçoit un *surcroît* de charge de $2^{k},2$, tandis que l'essieu d'arrière, placé à $1^{m},70$ du premier, est soulagé de $1^{k},2$. Si par suite des oscillations de la chaudière, le surcroît de pression sur les platines atteint, en marche, 2 tonnes seulement, la *surcharge* du premier essieu s'élève à $4^{t},4$ (1).

» Telle est la conséquence capitale d'une modification apportée à un type produit surtout en vue d'une répartition uniforme sensiblement constante, et auquel on croyait, tout en l'altérant, conserver ce caractère !

» A cela que répond M. Chobrzinski?

» Pas un mot.

» Pour l'auteur de la dissertation (c'est nous dont il s'agit), il faut lui rendre cette justice : il décline franchement le débat, c'est-à-dire *l'examen des effets du porte-à-faux des longerons, qui est, encore une fois, le trait caractéristique des machines modifiées*,

» *Mais nous ne choisissons pas ce terrain pour notre discussion*, dit-il. »

» A la bonne heure; cela est commode et prudent. » (2)

Pour répondre, en effet, voici ce qu'il eût fallu dire :

(1) Voir *Annales des mines*, 1859, tome XVI, page 584.
(2) *Annales des mines* (1860), tome XVII, pages 462 et 464.

Il n'est pas une ligne dans ce qui précède qui ne prouve que M. Couche n'a ni vu, ni décrit, ni dessiné la disposition dont il parle; car cette disposition, à laquelle il attribue de tels effets, n'existe pas; elle n'a jamais existé comme il le dit; aucun des effets qu'il décrit n'a pu être produit.

Cependant, il l'a vue; le doute n'est pas permis à cet égard. Il l'a décrite : bien mieux, il a emprunté à un ouvrage, auquel nous avons participé (1), la description suivante :

« En France, on s'était contenté de faire concourir à l'adhérence le premier essieu du tender, par le système des engrenages, mais sans y ajouter, par des bielles d'accouplement, les autres essieux du tender. Cette disposition a conduit M. Schneider à une modification très-heureuse (c'est celle que notre critique appelle malencontreuse) qui a complété le système Engerth, en l'appropriant tout à fait aux besoins d'exploitation et aux conditions de construction des chemins de fer français.

» Il a détaché du tender son premier essieu, placé, comme on l'a dit, en avant du foyer de la machine; il l'a attaché au châssis de la machine et a fait de la partie antérieure du longeron du châssis du tender, deux brancards qui viennent reposer sur le châssis de la machine, à l'aplomb de sa quatrième paire de roues, comme les brancards d'une charrette, reposant sur un tréteau. Les extrémités de ces deux brancards sont réunies, comme d'habitude, par une traverse qui porte le boulon d'attelage, et qu'il suffit de démonter lorsqu'on veut séparer le tender de la machine. »

Après cette citation, M. le professeur nous gourmande dans ces termes :

« On retrouve dans ce passage des preuves de la netteté d'idées dont l'auteur fait preuve au sujet des relations qui existent, dans le type de locomotion dont il s'agit, entre la machine et le tender, et il termine : « ainsi ce n'est pas la machine qui s'appuie sur les longerons du tender, c'est le tender qui s'appuie sur la machine ! »

Enfin M. Couche a dessiné la disposition dont il parle (Pl. 2, fig. 4, 4e livraison de 1859).

Comment donc se fait-il qu'ayant vu, décrit et dessiné l'agencement dont il est question, il nous place dans la nécessité de lui faire remarquer qu'il discute sur une disposition complétement imaginaire, et qui n'a jamais existé !

Le châssis du tender vient bien réellement s'appuyer sur les ressorts du quatrième essieu de la machine, en avant du foyer. Nous affirmons à M. Couche que cela n'est pas une erreur provenant de *notre défaut de netteté d'idées*, c'est le fait vrai. Le châssis est ainsi enfermé entre ce point d'appui et le support du foyer, de sorte qu'entre les deux essieux (le quatrième de la machine et le premier du tender), *il n'y a aucun*

(1) *Guide du mécanicien*, 2e édition, page 279.

porte-à-faux; il ne peut pas s'en produire. Le poids porté par les deux essieux agit sur chacun comme sur tous les autres, en raison de la distance qui existe entre le centre de gravité du poids intermédiaire et les deux essieux (Pl. VIII, *fig.* 73 et 74).

Or, comme c'est l'essieu du tender qui est le plus éloigné du centre de gravité du poids porté par les deux essieux, c'est celui qui porte la plus faible partie de ce poids.

La surcharge se trouve ainsi répartie dans un sens complétement opposé à celui qu'annonce M. Couche, et, nous le répétons, en raison inverse des distances d'application aux roues voisines (quatrième et cinquième paires), c'est-à-dire comme 1,05 à 0,96, et *sans qu'il y ait la moindre analogie avec l'action d'un fléau de romaine dont l'essieu du tender serait le couteau.*

Chaque kilogramme de la surcharge, transmise par le support du foyer aux deux essieux entre lesquels il est placé, se distribue donc en $0^k,68$ sur l'essieu de la machine et $0^k,32$ sur celui du tender, *au lieu de $2^k,2$ calculés par M. Couche, comme devant être la charge répartie sur ce dernier essieu, par suite d'un porte-à-faux qui n'a jamais existé que dans son imagination.*

Était-il vraiment si commode de discuter sur le terrain d'une erreur aussi grave, dans la critique du type *condamné par M. Couche à une transformation immédiate, à cause de la disposition en porte-à-faux et de ses désastreuses conséquences pour la voie et les bandages.*

Pour quelle forme de discussion fallait-il opter? Avait-il réellement accepté sans examen les descriptions ou les dessins qu'il a publiés, ou ne les avait-il pas compris? L'une et l'autre suppositions sont inadmissibles dans une discussion loyale. Il y avait donc là une erreur, qui est le simple résultat d'une préoccupation, erreur également incompatible avec le caractère et l'instruction de notre adversaire. Une pareille erreur n'était pas un terrain à choisir en vue du résultat sérieux auquel nous voulions arriver : celui de démontrer que le type Engerth est aujourd'hui le seul anneau que l'expérience ait ajouté à la chaîne du progrès dans la construction des machines de grande puissance : que ce type est celui qui ménage le mieux la voie, en ce qu'il offre la plus grande stabilité et la plus égale répartition du poids sur les essieux, ainsi qu'en

justifient les indications suivantes, qui se rapportent aux différents états de la machine.

La répartition sur les essieux du poids des machines Engerth à huit roues couplées est : machine découplée, $0^m,12$ d'eau dans la chaudière et 500 kil. de combustible dans le foyer :

1er essieu.	6.095k	40.385k
2e essieu.	11.400	
3e essieu.	11.255	
4e essieu.	11.635	

Machine réunie au tender plein d'eau, avec 2.000 kil. de houille, $0^m,12$ d'eau au-dessus des tubes dans la chaudière, et 500 kil. de combustible dans le foyer :

1er essieu	9.680k	39.215k	60.495k
2e essieu	9.565		
3e essieu	9.430		
4e essieu	10.540		
5e essieu	9.410	21.280	
6e essieu	11.870		

Pesée nouvelle d'une machine de l'*Est* avec 4.000 kil. de houille dans le tender :

1er essieu.	9.500k	38.200k	61.100k
2e et 3e essieu . . .	19.300		
4e essieu	9.400		
5e essieu	11.400	22.900	
6e essieu	11.500		

Machine réunie au tender rempli à moitié d'eau et avec 1.000 kil. de houille, $0^m,12$ d'eau au-dessus des tubes dans la chaudière et 500 kil. de houille dans le foyer.

1er essieu	10.180k	38.880k	55.510k
2e essieu	9.260		
3e essieu	9.240		
4e essieu	10.200		
5e essieu	7,755	16.630	
6e essieu	8.875		

L'effet de la solidarité du système Engerth est en conséquence :

1° De faire porter sur les roues du tender au départ (40 385 —39.215=) 1.170 k. du poids de la machine : de faire porter sur les roues du tender *en moyenne* (40.385—38.880=) 1.505 k.

2° D'obtenir une répartition satisfaisante de la charge sur les essieux ;

3° De supprimer complétement toute espèce de porte-à-faux dans la distance de $3^m,010$, qui sépare l'essieu d'arrière de la machine de l'essieu d'avant du tender, et d'annuler ainsi les effets des oscillations de la boîte à feu.

La comparaison suivante des pesées de la machine *solidaire*

de l'Est avec celle rendue *indépendante* du tender, suivant le conseil de M. Couche, fait du reste ressortir les avantages, quant aux réactions sur la voie, du système par lequel Engerth a rendu la machine et le tender solidaires.

Machine solidaire de l'Est, avec $0^m,12$ d'eau au-dessus des tubes dans la chaudière, 1.000 kil. de houille dans le tender, presque plein d'eau. Point de combustible dans le foyer :

1er essieu	9.935k	39.145k	59.735k
2e essieu	9,110		
3e essieu	10.190		
4e essieu	9.910		
5e essieu	9.700	20.590k	
6e essieu	10.890		

Machine à tender séparé, $0^m,20$ d'eau au-dessus des tubes dans la chaudière. Presque pas de charbon dans le foyer :

			Pesée nouvelle.	
1er essieu. . .	10.630k	45.570k	10.800k	45.700k
2e essieu. . .	10.710		11.200	
3e essieu. . .	11.720		12.000	
4e essieu. . .	12.510		11.700	

L'excédant de poids de la machine, résultant du découplement, est donc de 6.425 k. ; mais comme la chaudière de la machine, disposée pour être couplée à la manière ordinaire avec son tender, contenait, lors de la pesée, plus d'eau que celle de la machine solidaire, *il faut compter* 6.000 *k. d'augmentation de poids sur les quatre roues couplées.* Cela, du reste, était facile à prévoir.

Ainsi s'évanouit l'échafaudage des conséquences désastreuses qui motivaient le découplement, et surgissent, au contraire, ses graves inconvénients : les quatre essieux de la machine *indépendante* sont chargés chacun d'un poids supplémentaire de 1.500 kilogrammes.

Mais à part les inconvénients de l'accroissement du poids, il y a tous ceux qui tiennent à la disposition de la machine découplée, et qu'une discussion approfondie doit faire ressortir.

Nous suivrons pas à pas les dernières observations de M. Couche (1).

« Ce que je critique, dit-il, ce n'est pas le principe de la machine Engerth, c'est la modification malencontreuse qu'on lui a fait subir.

« Quelle est la conséquence capitale, le trait caractéristique de cette modi-

(1) *Annales des mines*, 3e livraison de 1860, page 461.

cation, l'énorme *porte-à-faux* des longerons du tender qui reçoivent les supports de la boîte à feu.

Dans la machine Engerth pure, *non perfectionnée*, les points d'appui de la boîte à feu sont placés entre deux essieux du tender. La pression qu'ils transmettent peut être considérable, varier dans des limites assez larges, sans que les charges des roues du tender entre lesquelles cette pression se répartit éprouvent de grandes variations »

Nous avons démontré, de reste, que la modification critiquée produit, sur le quatrième et le cinquième essieu, des réactions absolument identiques à celles décrites ici; il ne nous reste rien à établir à cet égard; nous limitons désormais la discussion au mérite du conseil donné à la Compagnie de l'Est, de remédier par le découplement aux inconvénients de la *modification malencontreuse*.

Pourquoi, puisque le principe de la machine Engerth, celui pour lequel cet ingénieur a reçu la grande médaille d'or à l'exposition universelle, était pleinement admis par M. Couche, n'a-t-il pas essayé d'en substituer la disposition originaire à la modification qu'il critiquait?

S'il avait tenté de le faire, il n'est pas un ingénieur, pas un praticien, qui ne lui eût démontré que la modification ne changeait absolument rien à la répartition des pressions sur les essieux et sur la voie, qu'il approuvait dans la machine *pure, non modifiée;* qu'en attachant le quatrième essieu au châssis de la machine, le but était seulement d'assurer son parallélisme aux autres essieux moteurs, en vue de le rendre moteur comme eux, au moyen de l'accouplement ordinaire.

C'était là l'intérêt unique de la modification que *le Guide du Mécanicien* a caractérisée comme *très-heureuse*, et que M. Couche a qualifiée de *malencontreuse*, après que l'expérience la plus large, la plus complète, en avait démontré les avantages.

Et, si cette *modification* affectait la machine *pure* (ce que personne n'admettra), pourquoi ne pas revenir à la première, qui était conciliable avec le parallélisme forcé du quatrième essieu, au lieu de conseiller le découplement?

Qu'avons-nous voulu établir? Que le découplement était inutile; qu'il était nuisible. M. Couche répond :

« La question est singulièrement méconnue dans les deux notes auxquelles je vais répondre en même temps (celle de M. Chobrzinski et la nôtre), mais que je suis bien loin, est-il nécessaire de le dire, de placer sur la même ligne » (1).

(1) 3e livraison, 1860, page 461.

Quant à avoir posé la question sur son véritable terrain, le lecteur jugera entre la critique et nous.

Mais quant au peu de compte qu'il fait de mes observations, je partage absolument l'impression de M. Couche. Il n'est pas une ligne de la note de M. Chobrzinski qui ne démontre, sans contestation possible, que les machines du type condamné par la critique n'exercent aucun effet nuisible sur la voie, qu'elles sont d'un entretien moins dispendieux que les autres, que l'usage en est plus économique, et enfin que la base d'expériences sur laquelle il appuie ses démonstrations est à la fois si large, si concluante, si bien observée, si bien corroborée par l'étude de tous les détails statistiques qu'une bonne comptabilité peut fournir, que la conviction reste entière, que là est la vérité qu'il faut substituer au tableau des conséquences toutes contraires que M. Couche avait affirmées.

En vérité, il est pénible pour un écrivain de voir si complétement disparaître sous lui le terrain des faits qu'il a adopté, et si M. Couche avait été conséquent avec l'impression que les deux notes lui ont faites, il aurait répondu à celle de M. Chobrzinski avec le développement qu'elle méritait, au lieu de ne lui consacrer qu'une très-minime part dans sa réponse.

Pour en finir sur les points de la discussion qui se rapportent au découplement, empruntons une nouvelle citation à la dernière note.

« En résumé, dit M. Couche (page 468) pour justifier la disposition critiquée, il eût fallu établir ces deux points;

1° Nécessité de compléter l'adhérence dans la machine Engerth pure par l'accouplement, d'un quatrième essieu;

2° Nécessité de faire disparaître le porte-à-faux, en vue de la stabilité. »

La nécessité de faire concourir le quatrième essieu à l'adhérence est établie par l'utilité d'y faire contribuer le poids tout entier de la machine, dans les cas où l'effort de traction est porté à son maximum, comme dans les démarrages, et dans les cas aussi où des circonstances atmosphériques réduisent l'adhérence à son minimum.

Quant à la nécessité de faire disparaître le porte-à-faux en vue de la stabilité, elle a été si bien comprise que cette condition a été complétement réalisée par la modification que M. Couche n'a condamnée que parce qu'il a supposé, sans examen, des effets contraires à ceux qu'elle produit.

Il ne s'agissait que d'éclairer ce point, et nous aimons à croire que désormais nous sommes d'accord avec M. Couche.

Le serons-nous moins sur la manière de comprendre les leçons de l'expérience sur les services que rend ce type de machines?

Citons encore.

« Comment! tout un service d'ingénieurs, chargé du matériel et de la traction du plus grand réseau exploité qui soit, à l'heure qu'il est, en France, étudie une question! Il l'étudie à fond sans parti pris, *et même avec le désir tout naturel de trouver justifiée la solution à laquelle il s'était d'abord arrêté! Il reconnaît qu'il y a lieu d'interroger l'expérience.* Il le fait, longuement, patiemment; l'expérience prononce! et de tout cela, pas un mot! » (1)

Vraiment! qui se serait douté d'études aussi approfondies? Qui faut-il croire de la plume de 1859 ou de celle de 1860?

« Il a suffi, écrit M. Couche (2) de communiquer ces observations (les siennes) à M. Sauvage, ingénieur en chef du matériel du chemin de fer de l'Est pour le déterminer à faire *immédiatement* découpler une machine Engerth qui a été munie d'un lest, attelée à un tender ordinaire et mise en service. »

Nous ne sommes assurément pas surpris que l'ingénieur du Matériel ait consenti à faire une expérience qui lui était proposée par l'ingénieur en chef du Contrôle. L'un et l'autre sont hommes d'expérience, et ils savent ce qu'ils font. Mais pourquoi M. Couche donne-t-il plus tard à son unique initiative le caractère de *l'initiative générale de tout un personnel d'ingénieurs?*

A cette expérience conseillée par un ingénieur, en se fondant sur des raisons qu'il déduit, et qui contiennent « *sur leur point capital* » une erreur inexplicable, il en est une autre, dont M. Couche connaissait cependant les résultats quand il a écrit les lignes qui précèdent.

C'est celle de quarante machines Engerth, *au lieu d'une,* circulant avec des charges *plus complètes qu'aucune autre;* et depuis quatre années, *au lieu d'une;* ayant parcouru 3.290,483 kilomètres au lieu de 40 ou 50.000, sans qu'aucun des inconvénients signalés par M. Couche se soit montré.

Qui donc, parmi nous, peut être légitimement accusé de fermer les yeux à l'expérience!

---

(1) Note de M. Couche, pages 465 et 466, tome XVII.

(2) Note de M. Couche, page 152, tome XVI.

(3) *Annales des mines*, pages 435 et 436, 3e liv. 1860.

M. Couche consent, il est vrai, à faire une part à celle du *Nord*.

La stabilité des machines du Nord, peut, dit-il, s'expliquer parce que la réglementation de *l'Est* fait porter plus aux longerons du tender que celle du *Nord*.

Mais cette assertion est contredite par les pesées comparatives des machines (pages 646 et suivantes).

Nous en avons fini de cette question du découplement : il était inutile, il est nuisible. C'est par suite d'une méprise inexplicable qu'il a été conseillé.

Laissons le donc de côté avec les questions spéciales qui, sans doute, intéressent immédiatement les ingénieurs et les intérêts engagés dans cette polémique, et rentrons dans la discussion des questions générales qui importent à l'avenir de la construction des machines de grande puissance.

L'opposition de M. Couche aux machines à huit roues couplées, système Engerth, date du jour de leur apparition à l'exposition universelle 1854-55.

Les motifs en sont déduits dans un mémoire qui, aujourd'hui encore, sera lu avec intérêt; car, à part les conclusions sur lesquelles l'expérience a prononcé d'une manière opposée aux prévisions de l'auteur, il décrit, avec ensemble et précision, les difficultés que rencontrait alors la construction des machines de grande puissance.

Il y a là une discussion bien autrement solide et calme que celle d'un *porte-à-faux*, dont l'auteur a, depuis, fait la pierre angulaire de son édifice croulant de toutes parts, et que nous venons de détacher.

C'est cette discussion qui importe à présent.

Le système de construction des machines Engerth, du type de plus grande puissance, ne sert désormais, il faut le reconnaître, de but à une polémique ardente, que parce qu'il ouvre une voie à l'avenir. C'est ainsi, c'est pour cela que nous en avons indiqué l'intérêt ; nous compléterons notre exposé sur l'importance du débat.

L'influence du tracé des voies des chemins de fer sur les dispositions des machines de grande puissance, en ce qui concerne l'écartement et l'accouplement des essieux, oblige à en placer les cylindres et le foyer à l'extérieur des essieux extrêmes.

D'un côté, cependant, les dimensions du foyer vont chaque

jour s'agrandissant : la longueur de la grille des plus fortes machines à marchandises était, en 1843, de 0m 925 ; celle du type Engerth (Midi) est de 1m 666 ; celle de la machine type Belpaire est de 2m 400.

Lorsque le foyer est enfermé entre les roues extrêmes, sa largueur ne peut dépasser 1m,080, type Engerth (Midi). Pour l'accroître, comme dans le type Engerth (Nord), il faut reporter la boîte à feu au delà de l'espace compris entre les roues. C'est ainsi que dans ce type, on a pu obtenir une largeur de 1m,350, qui, avec la longueur de 1m,440, constitue une surface de 1m,9440, la plus étendue qui eût été introduite dans le matériel français jusqu'au jour où la machine belge, type Belpaire, qui vient de faire, sur la ligne du Nord, une intéressante apparition (1861), nous a montré une grille de 2m,60 de superficie (2m,40×1,09) ; sur laquelle la fumivorité de la houille est complète, sans que la simplicité des dispositions actuelles des foyers soit sensiblement modifiée.

Or, à mesure que l'utilité d'agrandir les dimensions du foyer s'est montrée, soit pour élever la puissance de vaporisation, soit pour aider par de plus grands accès d'air, à la combustion de la houille, le poids de cet appareil s'est nécessairement augmenté ; mais, à l'extrémité antérieure de la machine, le poids des cylindres ne s'est pas accru dans les mêmes proportions, et l'équilibre a cessé d'exister entre les poids portés aux extrémités antérieures et postérieures de la machine. Se fût-il maintenu par l'augmentation proportionnelle du poids de la boîte à feu et des cylindres, la distance du centre de gravité du poids mis ainsi en porte-à-faux, en d'autres termes, la longueur du levier d'oscillation, au delà des essieux extrêmes, étant inégale, les inégalités de la voie auraient produit dans la marche une sorte d'équilibre instable.

C'est pour obvier à cet inconvénient qu'Engerth a imaginé d'emprunter au tender un point d'appui vers l'extrémité postérieure de la machine, sans ôter à l'ensemble des deux appareils, machine et tender, rendus ainsi solidaires, la flexibilité nécessaire au passage des courbes de la voie.

A part la solution consistant à ajouter à l'avant de la machine un poids compensateur de l'excès de poids du foyer placé à l'arrière, solution qu'aucun ingénieur n'a proposée comme un système normal, et sur laquelle la discussion ne s'élève aujourd'hui qu'à titre de remède à des inconvénients

imaginaires, il ne s'en est présenté jusqu'à ce jour aucune autre que celle d'Engerth.

On ne peut, en effet, et par les motifs que nous allons indiquer, regarder comme efficace la disposition qui consiste à placer un essieu sous le foyer.

La distance entre les essieux extrêmes, limitée par les courbes de la voie et par les conditions de l'accouplement, autrement dit par la nécessité du parallélisme des essieux, est égale à la longueur du corps tubulaire du générateur.

Une expérience toute récente, qui se poursuit avec succès sur le chemin de fer du Nord, et qui consiste à faire faire aux gaz produits par la combustion un parcours double de la longueur des tubes, pour surchauffer la vapeur, ou plutôt pour convertir en vapeur l'eau tenue en suspension, démontre la vérité d'un fait déjà entrevu par un grand nombre d'ingénieurs, à savoir que la longueur de la partie tubulaire peut être utilement augmentée, puisque la température des gaz produits par la combustion est, à l'extrémité des tubes, et pour peu que le tirage ait quelque activité, de beaucoup supérieure à celle qui correspond à la pression de la vapeur.

Une autre expérience également récente a constaté que l'intensité de la combustion résultant d'un tirage très-énergique, obtenu par des souffleurs à vapeur de fort diamètre, disposés à la naissance de la cheminée d'une machine locomotive, peut produire, par mètre carré de surface de chauffe, une quantité de vapeur presque double de celle que cette même machine produit à sa vitesse ordinaire et en traînant son maximum de charge.

Ce sont là de puissants motifs de ne rien sacrifier de la longueur des tubes, et comme la disposition qui consiste à faire supporter la boîte à feu par un essieu passant sous le foyer n'a pas d'autre conséquence, elle ne peut prendre rang, à titre de solution pour la construction des machines de grande puissance.

Un autre obstacle de moindre importance, il est vrai, mais néanmoins assez grave, c'est la nécessité d'un double châssis pour les machines dont l'essieu passe sous le foyer.

On doit donc reconnaître qu'il ne s'est pas encore présenté d'autre moyen d'établir une machine locomotive de grande puissance que celui de placer les essieux couplés sous la partie cylindrique du générateur, c'est-à-dire entre les cylindres et

la boîte à feu et que, dans cette disposition, la seule difficulté à résoudre est d'atténuer ou d'éviter les inconvénients du porte-à-faux de la boîte à feu.

C'est ce qu'Engerth a fait avec un succès incontestable en faisant concourir le tender à supporter l'excédant de poids de la boîte à feu, qui serait, dans la marche, une cause d'instabilité. Quarante de ces puissantes machines, les plus fortes qui soient connues, ont parcouru sur le chemin du Nord, depuis leur mise en service (1856-57) jusqu'au 1er juillet 1860, 3.290.493 kil. (aujourd'hui plus de 4.000.000 kil.) avec une économie, par tonne transportée, de 27 p. 100 (344 : 470), en consommation de combustible, sur le service des machines de faible puissance, et de 59 p. 100 (5 à 12) sur les frais d'entretien (1).

Le contraire avait été affirmé dans les termes suivants : « L'économie n'existe ni dans l'achat, ni dans l'entretien, tant s'en faut, ni dans la consommation (p. 149, 4e livr., 1859). » A cette assertion nous opposerons la suivante : « Il est tout simple que la consommation rapportée à la charge remorquée soit plus faible sur les machines qui marchent à charge *toujours plus complète* (p 468, t. XVII, 1860). »

C'est un grand pas de fait vers l'accord : pourquoi ne pas aller plus loin ? Ce n'est pas à M Couche que nous apprendrons que si la consommation de combustible est dans un certain rapport avec la charge remorquée, ce rapport s'améliore constamment avec la puissance de la machine. Nous n'avons jamais dit autre chose, et il est maintenant bien établi qu'en prenant pour point de comparaison *le poids remorqué*, la machine Engerth est la plus économique de toutes les machines, quant à l'achat, à l'entretien et à la consommation.

Jamais amélioration n'a donc reçu de l'expérience une plus décisive sanction.

J'ai dit que la condamnation du type Engerth de grande puissance par M. Couche a des conséquences graves ; je tiens à le démontrer. S'il ne s'agissait en effet que du mérite d'un procédé industriel, le temps ferait justice d'une critique fondée ou injuste ; et en pareil cas il suffirait à la discussion que deux opinions opposées, également compétentes, fussent émises, pour que chacun pût s'éclairer.

---

(1) *Annales des mines* (1860), 5e série, pages 425 et 426.

Mais il n'en est pas ainsi. Les chemins de fer n'occupent pas dans l'industrie générale du pays la même place que les manufactures. Leur exploitation est envisagée par le gouvernement comme plus intimement liée à certains intérêts généraux dont il a la responsabilité plus directe : c'est celui de la sécurité publique et de la régularité du service; celui de la conservation du matériel et de la voie; c'est aussi celui de l'économie des transports au double point de vue des intérêts de consommation et du produit des entreprises dont la tâche financière importe aux développements de la circulation.

Dans l'opinion publique le sentiment est moins impartial. Il ne concède pas encore aux associations la tendance à mettre au premier rang les questions de sécurité, et tous les efforts que font les compagnies pour concilier cet intérêt avec l'abaissement du prix de revient des transports, sont mis en suspicion.

De là une responsabilité grave pour laquelle il n'y a de refuge que dans l'imitation absolue des procédés admis et employés par tous et partout.

Si une amélioration, si un changement quelconque est alors critiqué par ceux que l'opinion publique considère comme les gardiens de l'intérêt général; si alors, et comme dans la circonstance dont il s'agit, un type entier de machine est signalé comme susceptible de jeter fréquemment la perturbation dans le service en encombrant la voie, de détruire rapidement les rails, d'écraser des trains entiers sans éprouver d'avarie sérieuse et en outre d'être d'un emploi et d'un entretien plus dispendieux que les autres, que devient alors, devant l'opinion publique, la situation de ceux qui portent la responsabilité des dispositions qu'ils ont adoptées comme un progrès?

Le moindre des préjudices que peut causer une critique aussi absolue que celle à laquelle nous répondons est donc de ralentir les progrès qui importent le plus à l'économie des transports; car, ainsi que nous l'avons dit, en condamnant le type de plus grande puissance connue, sans y substituer aucun procédé équivalent pour satisfaire aux conditions qu'il remplit, on ferme toute voie d'avenir à l'économie des transports en tant que puissance de locomotion.

Veut-on savoir l'opinion de M. Couche, lui-même, sur l'im-

portance des intérêts en jeu. Nul ne l'a résumée plus nettement que lui (1854-55) (1).

« La construction de locomotives à petite vitesse et très-puissantes, est en ce moment, de toutes les questions techniques à l'ordre du jour, sur les chemins de fer, *la plus pressante* et la plus discutée.

» Le problème a deux faces, les exigences auxquelles il faut satisfaire, sont tantôt celles du tracé, tantôt celles du trafic

« Sur les tracés accidentés, la combinaison de rampes et de courbes d'une grande roideur est indispensable pour franchir les obstacles naturels ; elle impose aux moteurs des conditions très-difficiles à concilier : une grande adhérence et une grande flexibilité.

« Il ne s'agit pas, en France, de franchir des rampes de 0.025 (en 1854), mais de remorquer, au moyen d'une seule machine, des masses énormes, de sorte que les conditions de *puissance* et de vitesse *sont à peu près les mêmes dans les deux cas.*

« La question a d'ailleurs une importance capitale ; ce n'est pas simplement l'économie des transports à petite vitesse qui est en jeu, c'est la régularité du service, c'est la sécurité même des voyageurs évidemment menacée, quand l'activité du double service opéré sur les mêmes rails dépasse une certaine limite. Il faut alors augmenter la masse des trains sous peine de les multiplier outre mesure.

« Une autre mesure tend au même but et doit être employée concurremment ; c'est l'augmentation de la charge utile par essieu de wagon, etc. »

Le mémoire dont nous extrayons ces citations est, nous l'avons dit, l'un des plus étudiés sur la question du matériel des chemins de fer, qui soient dus à la plume de M. Couche.

Mais, en présentant avec soin les moyens par lesquels la puissance des machines pouvait être obtenue, il en fixait alors la limite absolue, pour la France, au poids de 36 tonnes servant à l'adhérence et porté par trois essieux accouplés.

Cette limite n'a pas été, dans notre pays, acceptée par l'expérience. Les ingénieurs répugnent maintenant à charger les essieux d'un poids de 12 tonnes, ou du moins ils considèrent ce poids comme une limite. Nous croyons qu'avec des bandages d'une grande dureté, des rails de 38 kilogrammes, éclissés et à supports espacés de 0m,80, un poids de 12 tonnes par essieu de machine à petite vitesse serait sans inconvénients (2) ; mais ces conditions de la voie n'existaient pas alors et sont encore loin d'être générales.

Les ingénieurs ont donc préféré limiter à 38 ou 40 tonnes le poids porté par quatre essieux accouplés.

MM. Beugnot et André Kœchlin ont porté ce poids à 47 tonnes, mais ils ont pris dans la suspension les dispositions les

(1) *Annales des mines*, 5e série, tome VI, page 345.
(2) Le programme allemand fixe la limite de charge par essieu à 13 tonnes.

plus propres à répartir très-également ce poids sur les quatre essieux pendant la marche.

Quatre essieux sont d'ailleurs incontestablement préférables à trois essieux comme base de stabilité ; ils rendent l'égale répartition du poids plus facile et, à dimensions égales de générateur, ils rendent l'accouplement plus compacte et plus homogène en réduisant l espace entre les essieux.

M. Couche qui a présenté, avec des développements fort utiles, les avantages et les inconvénients des châssis et des cylindres extérieurs et intérieurs, au point de vue de l'accroissement de la puissance des machines, ne nous contredira pas sur ce point.

L'accouplement de quatre essieux est un procédé accepté par les ingénieurs les plus prudents ; il résout avec bonheur la difficulté qui s'oppose à l'accroissement des dimensions du générateur, et la disposition Engerth, pure ou modifiée, aussi bien que celle qu'a adoptée M. Beugnot en est l'annexe la plus précieuse parce qu'elle permet d'accroître, sans inconvénients pour la voie, la dimension du foyer.

Laissons maintenant parler M. Couche sur le mérite de la disposition Engerth :

La disposition imaginée par M. Engerth peut convenir pour des machines destinées à prendre une certaine vitesse. Dès que celle-ci atteint 50 kil. environ, la considération de la stabilité, de la régularité d'allure, hors de cause à la vitesse des trains de marchandises, peut être justement invoquée (1).

« Quand il faut, d'une part, une grande puissance et de la flexibilité, de l'autre de la vitesse, cas dans lequel une adhérence partielle suffit, la solidarité est justifiée, puisqu'elle fait disparaître le porte-à-faux de la boîte à feu et l'instabilité qui en résulte. »

On peut se demander, en lisant ces lignes, quels sont désormais les points qui nous séparent.

Si le système Engerth assure la stabilité aux grandes vitesses, n'est-ce pas une raison pour en profiter aux faibles vitesses en étendant la dimension des machines?

C'est bien là, en effet. la voie que suivent les constructeurs.

M. Beugnot emprunte à Engerth l'appui articulé de la boîte à feu sur le tender. il améliore l'accouplement des quatre essieux en brisant la ligne des bielles en deux parties, tout en conservant le parallélisme des essieux. Il conserve la distance entre les essieux extrêmes ($3^m,90$ au lieu de $3^m,95$) et, moyen-

(1) *Annales des mines*, tome XVI, page 149.

nant cette disposition de l'accouplement des essieux, il étend l'application des machines de grande puissance au passage dans des courbes de 100 mètres de rayon sans atténuer en rien leur stabilité.

La supériorité de l'accouplement des quatre essieux, avec l'emprunt du système Engerth, sur l'accouplement de trois essieux appliqué par le même ingénieur, M. Beugnot, à des machines indépendantes, s'est, du reste, montrée dans l'usage qui en a été fait par une de nos grandes compagnies pour l'exploitation d'une ligne présentant des courbes d'un faible rayon.

Comme ce qui importe ici, c'est de bien démêler la marche du progrès, nous avons cru devoir discuter toutes les objections qui nous paraissaient en avoir encombré la voie.

Que, d'une manière absolue, l'accouplement de quatre essieux soit plus compliqué que celui de trois, que l'entretien en soit en conséquence plus coûteux, que la consommation d'une machine puissante, que son prix d'acquisition soient plus élevés que ceux d'une machine plus faible, qui le conteste? Mais qu'il en soit de même *proportionnellement à l'effet utile*, c'est là ce qui était erroné et ce que nous avons contesté.

Qu'en cas de déraillement, une machine composée de deux parties liées entre elles soit plus longue à relever qu'une machine indépendante ou qu'une machine plus légère, qui le contestera?

Mais que le type Engerth soit plus sujet à des déraillements que toute autre machine, voilà ce que nous avons contesté, et nous avons pour nous l'opinion même de M. Couche qui reconnaît que la disposition Engerth est une solution favorable pour la vitesse, parce qu'elle fait disparaître l'instabilité tout en conservant la flexibilité.

Faut il tenir compte, en cas de déraillement, de la liaison de la machine avec le tender et de la difficulté de séparer les deux trains?

L'expérience n'indique rien de semblable. Il n'a pas encore été trouvé nécessaire, comme le prétend M. Couche (page 467, tome XVII), de séparer la machine du tender dans le cas de déraillement. M. Couche cite, à l'appui de son observation, un fait sans exemple : celui d'une machine déraillée des *quatre roues de devant seulement*, qui a exigé 7h 40' pour être relevée. Que M. Couche s'enquière, on lui dira que tout agent ex-

périmenté d'un service de traction réussirait, en moins d'une heure, à replacer sur la voie une machine déraillée dans ces conditions.

Un autre fait de l'exactitude duquel M. Couche n'est pas, à nos yeux, plus responsable que du précédent, est cité par lui à titre de terrible épouvantail contre les machines Engerth modifiées :

« Il y a quelques années, dit-il, un train remorqué par une machine Engerth modifiée, rencontrait en marche un train de marchandises arrêté sur la voie. La machine pénétrait dans ce train, broyait tout sur son passage, *et parcourait ainsi 200 mètres dans le train* comme un projectile pénétrant dans un corps relativement mou. Après avoir produit de tels dégâts, la machine rentrait à Paris (68 kil.) et elle en était quitte pour une avarie à sa traverse d'avant (1). »

Analysons : Pour pénétrer de 200 mètres dans un train de marchandises en broyant tout sur son passage, la machine a dû réduire en fragments *trente wagons!* Pour que l'avarie qu'elle a éprouvée fût limitée à sa traverse d'avant, il lui a fallu balayer de la voie, devant elle, les fragments broyés de ces trente wagons!

M. Couche n'a pas vu de ses yeux cet accident; il a dû ajouter foi à un rapport écrit avec une incroyable exagération. Ne semble-t-il pas que la machine Engerth modifiée peut réduire en poudre des trains tout entiers et qu'elle peut, après y avoir pénétré *comme un projectile dans un corps relativement mou*, les franchir s'ils ont moins de trente wagons et continuer paisiblement sa route!

A aucun titre, l'exposé d'un pareil accident n'est acceptable. On ajoute : « Cet effet tient uniquement à ce que la *masse* de la machine empêchait la vitesse de varier brusquement. »

Mais l'explication est aussi inacceptable que le fait en lui-même.

Que voudrait-on prouver d'ailleurs? La machine Engerth dont il s'agit pèse, tender non compris, 39 tonnes réparties sur quatre essieux. Celle que proposait M. Couche, devait peser 36 tonnes réparties sur trois essieux. Serait-ce au supplément de 3 tonnes qu'on attribuerait de semblables effets? cela eût dû être expliqué.

Dans l'espèce, cet accident n'enseigne rien. Autant il faut approfondir avec un soin minutieux les causes et les effets des

(1) *Annales des mines*, tome XVII, page 467.

accidents, autant il faut d'expérience, de réserve et de sobriété pour en tirer des conséquences.

Que reste-t-il debout, dans cette discussion, des arguments par lesquels on a combattu le type Engerth des machines de grande puissance?

En ce qui concerne l'appui que ces machines empruntent au tender, les réactions du poids sur les essieux sont verticales, sans effets de levier, ni porte à faux et par conséquent sans surcharge anormale d'un des essieux du tender.

Le poids porté sur les essieux est inférieur; il est même de *beaucoup* inférieur à la limite que M. Couche a posée, en proposant comme terme de plus grande puissance, suffisante aux besoins des chemins de fer, une machine indépendante, de 36 tonnes, portée par trois essieux seulement.

L'accouplement de quatre essieux, moins distants dans ces machines que dans beaucoup d'autres, et la liaison avec le tender ne sont pas une cause d'augmentation de frais d'entretien, de consommation et d'achat, puisqu'elles *réalisent*, dans leur travail, une économie de 59 p. 100 sur les *réparations* et de 29 p. 100 sur le combustible, comparativement aux machines de plus faible puissance.

La dureté des bandages ayant pour résultat de conserver leur table de roulement, est reconnue comme une condition conservatrice à la fois des rails et de l'égalité du diamètre des roues et par conséquent un moyen efficace d'atténuer le glissement.

Qu'il s'agisse de desservir un trafic important sur un chemin de niveau ou de gravir de fortes rampes, l'intérêt et les règles de la construction des machines de grande puissance sont les mêmes.

La limite du poids à faire porter par les essieux a successivement exigé l'accouplement de deux, puis de trois, et dans ces dernières années de quatre essieux avec un égal succès, c'est-à-dire avec un abaissement continu et considérable du prix de transport à mesure d'augmentation de la puissance des machines.

L'accouplement de quatre essieux combiné avec le système Engerth, offre donc aujourd'hui un moyen incontestable de construire des machines puissantes, stables et flexibles, en empruntant pour l'adhérence tout le poids de l'appareil qui peut être reporté sur les essieux accouplés.

L'accouplement de quatre essieux exige la rigidité de leur parallélisme, mais il peut se concilier avec la flexibilité nécessaire au passage des courbes du plus faible rayon usité (100 mètres) par la disposition des machines Beugnot. du chemin de fer de Lyon à la Méditerranée, et dans ce cas encore la disposition Engerth est nécessaire pour offrir un point d'appui à l'arrière de la machine, qui permette d'accroître à volonté les dimensions du foyer.

Sous l'impression des conséquences de la discussion qui s'est élevée sur le type Engerth à quatre roues couplées, nous avons rappelé celle qui a eu lieu sur les contre-poids appliqués aux perturbations dans la marche des locomotives.

M. Couche y revient avec de longs développements.

Notre réponse sera courte, et nous nous placerons pour la faire sur un terrain tel qu'il n'y ait pas lieu d'y revenir.

Les ingénieurs qui se sont trouvés attachés dès l'origine au service de nos chemins de fer se rappellent tous qu'avant la fin de l'année 1848 aucune notion des principes de la stabilité n'avait présidé à la construction des machines locomotives ; à part les anciennes machines de Sharp et Robert et peut-être quelques autres en petit nombre venues d'Angleterre, les machines locomotives ne portaient de contre-poids d'aucun genre.

On avait ainsi construit des centaines de machines à cylindres intérieurs. Des déraillements, notamment des machines remorquant la malle de l'Inde, des dérangements de voie, des mouvements d'oscillation intolérables lorsque la vitesse s'accélérait ou lorsque les convois descendaient les rampes, avaient vivement excité l'attention de nos ingénieurs. On cherchait le remède dans l'application d'appareils qualifiés du nom d'*anti-lacet* ; les uns formés de tampons et de ressorts de serrage interposés entre la machine et le tender ; les autres de cylindres engagés dans des presse-étoupes et prenant sur le tender, extérieurement aux bâtis, un point d'appui pour la résistance aux oscillations de la machine.

La question en était là lorsque M. Le Châtelier, ingénieur des mines attaché au contrôle des chemins de fer, fit paraître dans les premiers jours de 1849 la brochure intitulée : « *Étude sur la stabilité des machines locomotives en mouvement.* »

L'analyse des actions perturbatrices, que l'auteur avait eu le bon esprit d'exposer sous une forme très-élémentaire ; les faits

présentés, les calculs numériques, les expériences faites par l'auteur lui-même, tout dans cette brochure jetait la clarté la plus vive sur un état de choses devenu déplorable et qui menaçait d'arrêter les progrès de la locomotion.

Grâce à cette publication et aux efforts persévérants de son auteur qui, pendant plusieurs années, a consacré une partie notable de son temps à propager la nouvelle méthode, l'application des contre-poids est devenue générale sur nos chemins de fer. De France, elle s'est répandue à *l'étranger*; en Belgique, en Angleterre, où l'auteur avait consacré plusieurs semaines, en 1851, à faire de la propagande auprès des ingénieurs anglais, dont la plupart n'avaient pas sur ce sujet des notions plus nettes que les ingénieurs français en 1849; en Allemagne même, où l'article de M. Nolleau ne paraît pas avoir eu beaucoup plus de retentissement qu'en France et où d'ailleurs il avait été précédé par un brevet pris en 1847 par M. Haswell, ingénieur-constructeur bien connu (1).

Nous ne nous sommes pas rendu un compte bien exact du but que M. Couche s'était proposé en insérant dans *le dernier*

(1) Comme ce dernier point pourrait nous être contesté, si nous n'apportions pas des preuves à l'appui de notre assertion, nous reproduirons ici une lettre adressée par M. Engerth à l'auteur des *Études sur la stabilité*, lettre dont nous avions eu connaissance il y a fort longtemps et dont l'original a été retrouvé et mis entre nos mains :

« Monsieur,

« Vous avez publié en 1849, une brochure par laquelle vous invitez les constructeurs à faire usage de contre-poids aux roues motrices des locomotives servant d'equilibre aux bielles, aux coussinets, aux pivots et aux moyeux.

« Bien que M. Hasswell, chef des ateliers de construction de Vienne, ait pris, en 1847, un brevet d'invention pour la même application ; on n'y aurait pas mis assez d'importance si l'on n'avait appris, par votre ouvrage, la grande utilité des contre-poids adaptés aux roues motrices.

« C'est donc principalement depuis cette publication que l'on a généralement adopte ladite méthode, et il y a déjà cent treize nouvelles machines sorties des ateliers de la Société des chemins de fer de Gloggnitz, qui font le service sur les différentes lignes de l'Autriche.

« Plusieurs de ces machines sont employées sur le chemin de fer de l'État, et l'expérience a donné les plus heureux résultats ; surtout, la marche de ces dites machines est d'une parfaite régularité.

« Monsieur, nous nous acquittons d'un devoir, vivement senti en vous faisant des remerciments les plus empressés pour la publication de votre estimable ouvrage.

« Veuillez agréer, Monsieur, l'assurance de notre considération toute distinguée.

« Signé : W. Engerth.

« A M. Le Chatelier, ingénieur en chef des mines. »

numéro des *Annales des mines* de 1860 l'article publié par M. Nolleau en 1848. Nous pensons qu'il eût été de son devoir de mettre en regard de cette publication un extrait entier de l'introduction à la brochure de 1849, dans lequel l'auteur exposait avec la loyauté la plus complète les précédents de la question.

Cet extrait est conçu dans les termes suivants :

« Ce travail était déjà très-avancé lorsque j'ai reçu le n° 40 du *Journal des chemins de fer allemands* (2 octobre 1848), qui renfermait une note de M. Nolleau, ingénieur du matériel du chemin de fer de Holstein, relative au même sujet; l'auteur de cette note s'est livré à des recherches sur les contre-poids que l'on applique aux roues motrices des machines locomotives, et le calcul, confirmé par des expériences directes, l'avait conduit à la plupart des résultats que j'ai obtenus de mon côté. »

« Plus tard, enfin, j'ai eu connaissance du compte rendu d'une séance de l'institut anglais des ingénieurs-mécaniciens, dans laquelle la question a été traitée au point de vue pratique. Je n ai pas renoncé pour cela à continuer l étude de cette question, qui est de la plus haute importance pour l'industrie des chemins de fer, et je me suis appliqué à lui donner tous les développements qu'elle comportait. Je me suis éclairé des conseils et des renseignements de plusieurs de mes amis qui s'étaient occupés, de leur côté, d'un sujet d'études aussi intéressant. C'est donc moins un travail original que je présente ici qu'un résumé de toutes les connaissances théoriques et expérimentales actuellement acquises. »

La question en était à ce point, lorsque M. Couche, dans une série de publications insérées dans les *Annales des Chemins de fer*, puis dans les *Annales des Mines*, est venu condamner l'application des contre-poids à la neutralisation des perturbations occasionnées par les pièces du mécanisme animées d'un mouvement horizontal; ce qu'on appelle maintenant, pour simplifier, l'équilibre horizontal.

M. Couche n'a rien ajouté, nous semble-t-il, aux indications fournies à ce sujet par l'auteur de la brochure de 1849; celui-ci avait en effet calculé, sur des exemples empruntés à la pratique, la valeur numérique des réactions produites par le contre-poids de l'équilibre horizontal, et mis chaque ingénieur en mesure de se rendre compte des effets résultant de son application dans chaque cas particulier.

Si l'expérience qui se faisait alors sur une grande échelle eût été continuée, les ingénieurs des compagnies seraient arrivés, par l'observation de tous les faits révelés par le service des machines, par la constatation de l'état des bandages, par l'observation des faits relatifs à la voie, à connaître quelles limites, s'il y a lieu, il convenait d'adapter pour les machines de chaque type. Un ingénieur exprimait l'opinion qu'il n'y avait aucun inconvénient à attendre des pressions exercées au contact des bandages et des rails, par le développement instantané de réactions dues au contre-poids de l'équilibre horizontal, pressions dont l'intensité ne pouvait croître qu'autant que leur point d'application se déplaçait lui-même avec une vitesse plus considérable ; un autre exprimait une opinion diamétralement opposée. L'expérience aurait prononcé entre ces deux opinions divergentes.

Mais, dès qu'au nom de la science, le contre-poids de l'équilibre horizontal était déclaré inutile et même dangereux, d'une manière générale et sans distinction des cas si variés qu'offrent les machines locomotives en usage, il devait nécessairement se produire un temps d'arrêt dans l'étude de la question. Comment, en effet, admettre que, sous le coup de cette condamnation lancée de si haut et avec tant d'assurance, bien que dépourvue de preuves directes déduites de l'analyse ou de l'expérience, les ingénieurs des compagnies continuassent des applications expérimentales qui auraient engagé leur responsabilité personnelle et correctionnelle de la manière la plus sérieuse ?

Dans une telle situation, il n'y avait qu'à s'abstenir, et c'est ce qui s'est fait généralement, plus ou moins. Si nous sommes bien informé, les ingénieurs des Compagnies et les constructeurs suivent maintenant les règles les plus diverses, ou même procèdent sans règle aucune, dans l'application des contrepoids ; l'anarchie la plus complète s'est mise dans cette partie de l'art de la construction des machines locomotives.

Nous eussions compris que M. Couche, profitant de sa position, eût cherché à aller plus avant que ses devanciers dans l'étude de la question ; qu'il se fût efforcé d'analyser, jusque dans leurs effets réels, les variations de pression dues a contre-poids de l'équilibre horizontal ; qu'il eût consacré plusieurs années à faire faire sur les divers types de machines des expériences complètes et décisives, à contrôler ses propres

expériences par l'examen et par la discussion des nombreux faits antérieurement constatés, et qui, soit dit en passant, nous ont toujours paru contraires à ses assertions. Une lumière plus complète se serait faite sur cette question capitale ; des règles pratiques auraient pu être définitivement formulées.

En se bornant à affirmer, sans même distinguer les cas fort différents qu'offre la pratique, et avec une exagération incontestable pour les praticiens qui ont fait une étude sérieuse de la question, la condamnation de l'équilibre horizontal, M. Couche a fait une chose contraire aux progrès de la locomotion.

Les observations précédentes avaient été adressées à la commission des *Annales des mines*, lorsque j'ai reçu d'elle communication de l'épreuve d'une note rectificative de M. Couche (1).

Les termes mêmes de cette note m'ont décidé à ne rien modifier de la mienne. En voici les motifs : ce qui importe dans la discussion, ce n'est pas seulement la rectification d'une erreur, c'est la rectification des dispositions qui ont été la conséquence immédiate de cette erreur.

Or le motif *capital* pour lequel M. Couche a conseillé de rendre les machines dont il s'agit indépendantes de leur tender, n'ayant, de son propre aveu, jamais existé, on devait s'attendre qu'il renoncerait à la séparation de la machine et du tender; et, dans tous les cas, à l'emploi d'un lest qui entraîne une augmentation de poids *inutile* de 6.000 kil. sur les quatre essieux de la machine indépendante.

Loin de là : l'essieu d'avant du tender qui, dans la première phase de la discussion, était exposé, suivant M. Couche, à un énorme excédant de charge venant de la machine, *ne portera*, au repos, *absolument rien de celle-ci*, *ou au plus* 1/3 *de son poids*; et en marche, *c'est l'essieu d'arrière de la machine qui portera une grande partie du poids du tender lui-même et de son approvisionnement* (2).

(1) Cette note a été, depuis, complétement modifiée par son auteur. Mais l'opinion qu'elle exprimait est maintenue, et comme les termes reproduits ici, en italique, en étaient l'expression textuelle, je n'ai rien à changer à ces dernières observations. E. F.

(2) Voir *suprà*, page 641, le texte exact de la note de M. Couche.

(*Note du rédacteur.*)

En sorte que, suivant M. Couche, *la rectification de l'erreur sur le mode de mise en charge des essieux fait ressortir bien plus nettement les motifs de la supériorité de la machine indépendante du tender, sur celle qui est accouplée au tender.*

Il est manifeste que cette conclusion repose sur une erreur aussi capitale que la première. A la simple vue de la machine ou du dessin d'ensemble qui se trouve dans les ouvrages spéciaux, il est facile de reconnaître que le centre de gravité du tender est plus rapproché de l'essieu d'arrière de celui-ci, que de l'essieu d'avant; de telle sorte qu'il est matériellement impossible qu'*une grande partie du poids du tender et de son approvisionnement se reporte*, en marche, *sur la machine*.

Cette situation du centre de gravité du tender est d'ailleurs nettement accusée par les pesées (pages 656-657), qui montrent que l'essieu d'arrière du tender porte, à plein, 2.460 kil. de plus que celui d'avant, et à moitié charge d'eau 1.120 kil.

C'est donc, encore cette fois, sur un oubli ou une erreur, dans le mode de mise en charge des essieux, que reposent les prétendus avantages du découplement.

Que résulte-t-il de tout ceci? Que Mr Couche, sous l'influence de craintes imaginaires, quant aux effets de la liaison de la machine avec le tender, sur les bandages et sur la voie, en a conseillé la séparation en employant un moyen qu'il qualifiait lui-même de *mauvais en soi*, mais qu'il croyait nécessaire; que ce moyen (le lest) a accru le poids de la machine indépendante, non pas de 3.500 kil., comme le prévoyait M. Couche, mais de 6.000 kil., absolument inutiles à la production de la force motrice; qu'en conséquence, loin d'alléger le poids porté par les essieux, il l'a notablement augmenté; et que, loin d'aider à l'égale répartition du poids de la machine entre les essieux, il le détruit par l'instabilité du système.

Il est donc permis de conclure que l'expérience et la discussion ont aussi bien constaté l'absence du mal, qu'elles en ont condamné le remède.

TABLE DES MATIÈRES

DU TOME DIX-HUITIÈME.

MINÉRALOGIE. — GÉOLOGIE.

MÉTALLURGIE. — MINÉRALURGIE.

MÉCANIQUE. — EXPLOITATION.

CONSTRUCTION. — CHEMINS DE FER.

OBJETS DIVERS.

BULLETIN.

(2e semestre 1860.)

EXPLICATION DES PLANCHES

DU TOME DIX-HUITIÈME.

Fig. 1. Coupe verticale de la tour de sondage, du bâtiment des machines et du puits en avaleresse;

p Puits préparatoire de 1m,37 de diamètre;
P Grand puits de 4m,25 de diamètre;
T Grand trépan, dans la position qu'il occupe au fond du puits, lorsqu'il fonctionne;
g Glissière; S tige de sondage;
HH Plancher de travail dit *Plancher de manœuvre;*
L Levier en bois attaché au tourne-sonde;
H'H' Premier plancher de service pour la manœuvre des outils;

(1) Ces trois planches portent par erreur dans le texte les nos I, II et III.

H′H″ Second plancher de service pour la suspension de tiges de sondage;
m Cylindre batteur;
bb Balancier de cette machine;
cc Pièce élastique ou de contre-coup (contre-balancier);
m′ Machine-cabestan;
n Contre-poids d'équilibre.

Fig. 2. Coupe verticale de la tour de sondage et de la baraque des trépans;
HH Plancher de travail;
WW Chemin de fer pour faire rouler les outils;
t Petit trépan en repos,
q Cuiller de draguage représentée au moment de la vider;
R Excavation où l'on a installé la cuve d'essai des pièces de cuvelage après que le travail de sondage était terminé;
ss Barre de suspension des tiges.

Fig. 3. Coupe horizontale de tous les bâtiments de sondage;
A Tour de sondage en maçonnerie;
B Baraque des trépans;
C, D, E, F, Bâtiment où se trouvent placés : le cylindre batteur en C, la machine-cabestan en D, la machine alimentaire en E, et la chaudière à vapeur en F;
G Forge pour la réparation des outils.

Fig. 4. Coupe du cuvelage suspendu sur la charpente, au moment où il va toucher le fond du puits;
p Puits préparatoire prolongé de 2 à 3 mètres au delà du grand puits;
P Puits foré au diamètre de $4^{m},25$.
C Tronçons de la partie inférieure du cuvelage;
B Boîte à mousse non encore fermée;
F Fond; T tube d'équilibre, R trou à vis servant à faire entrer l'eau dans le cuvelage;
H Cercle d'attache du cuvelage aux tiges de suspension S;
V Vis d'allongement; M. cabestan pour les mettre en mouvement;
G Charpente de suspension.

Fig. 5. Projection horizontale du plancher où sont installés les six cabestans servant à la descente du cuvelage.

Fig. 6. Grand trépan : L lame principale (en acier) portant les dents B bras du trépan; A arbre du trépan; R bagues placées sur l'arbre pour en éviter l'usure que produiraient les guides suspendues;
G Guides fixes; G′ guides suspendues.

Fig. 7, 8 *et* 9. Lame de trépan, guides fixes et guides suspendues.
Fig. 10. Projection de l'arbre et des bras du trépan.

PL. VI. *Même sujet.*

Fig. 11 *et* 12. Petit trépan;

L Lame principale; L' lame équarisseuse;
G Guides fixes;

Fig. 12, 14 *et* 15. Détails des lames et des guides.
Fig. 16. Dents de la lame équarisseuse;
Fig. 17. Dents de la tête du trépan.
Fig. 18. Dents du milieu.
Fig. 19 *et* 20. Tige de sondage : S tige en bois, F ferrement.
Fig. 21 *et* 22. Tourne-sonde : L levier en bois pour faire tourner le trépan.

Fig. 23 *et* 24. Vis d'allongement.
Fig. 25 *et* 26. Chaîne de suspension de l'appareil de sondage au balancier du cylindre batteur.

Fig. 27, 28, 29 *et* 30. Détails de la glissière placée entre le trépan et la tige de sondage : D douille d'assemblage du trépan à la glissière; F partie inférieure de la glissière, portant la rainure R ; M partie supérieure dite *le mâle*, portant le tenon T ; S tige d'assemblage en fer.

Fig. 31. Clef servant à dévisser les tiges de sondage.
Fig. 32. Anneau attaché à l'extrémité du câble d'extraction.
Fig. 33 *et* 34. Fourche pour suspendre les tiges sur le plancher de travail ou sur les chariots.

Fig. 35. Crochet pour suspendre les tiges sur l'arbre placé en haut de la tour.

Fig. 36, 37 *et* 38. Cuiller de draguage : C cylindre en tôle; A anse rivée à ce cylindre; B anse fixée à la tige de suspension et attachée au boulon qui passe par le centre de gravité du cylindre; T boulon et T' taquet avec clavette au moyen desquels on peut empêcher la cuiller de basculer; SS clapets fixés au fond du cylindre.

Fig. 39 *et* 40. Vérin. Les deux parties sont mobiles autour de l'axe A et se rapprochent par le mouvement de la vis V ; T ouverture centrale qui s'élargit ou se rétrécit, selon que l'on fait marcher la vis dans un sens ou dans l'autre.

Fig. 41 *et* 42. Projet d'un assemblage à clavettes pour réunir le trépan et la glissière.

Fig. 43, 44. Dragueur : cet instrument est formé de deux parties : 1° la cuiller C, la tige double SS, rendue solidaire de la traverse à charnière B et les deux pistons *p* attachés à cette traverse ; 2° la tige S'S' solidaire de la charnière B', à laquelle sont articulés les bras à palettes DD, TT boulons des mâchoires dans lesquelles frottent les pistons et fixés à la tige S'S'.

Fig. 45. Cuiller pour aller à fond.

Fig. 46. Crochet connu sous le nom de *loup*, servant à accrocher la cuiller.

Fig. 47 *et* 48. Crochet de salut.

Pl. VII. *Fig.* 49 *à* 72. *Même sujet.*

Fig. 49 *et* 50. Grappin formé de deux parties : 1° la tige SS rendue solidaire du parallélogramme BB, qui porte les griffes GG; 2° la tige double S'S' qui porte la traverse *aa*, et les deux crochets CC, auxquels on attache les cordes pour la manœuvre.

Fig. 51 *et* 52. Fanchère, formée aussi de deux parties : 1° la tige SSS qui est fixée sur le sabot B ; 2° les deux mâchoires dentelées MM, qui sont retenues par le manchon P.

Fig. 53. Cuve d'essai : A, cuve en tôle; B tronçon du cuvelage soumis à l'essai ; C plateau fermant l'espace annulaire; DDD agrafes serrant les joints ; F tuyau de la pompe hydraulique.

Fig. 54. Fond d'équilibre A fond ; B plateau ; C cuvelage.

Fig. 55. Boîte à mousse : A sabot en bois ; B cylindre en fonte suspendu par les tiges C ; D tronçon inférieur du cuvelage ; *ff* segments en tôle ; *g* filet ; K espace rempli de mousse.

Fig. 56. Partie supérieure du cuvelage : AA plateaux d'ancrage ; BB tronçons du cuvelage ; M maçonnerie ; N bétonnage.

Fig. 57 *et* 58. Outil pour nettoyer le fond du puits. Les bras BB sont mobiles autour des charnières CC.

Fig. 59 *à* 64. Cabestans à engrenages et tiges de suspension pour descendre le cuvelage : A engrenage, B manivelle ; V vis d'allongement terminée par l'étrier C ; D allonge des tiges de suspension ; F partie inférieure de la tige attachée au cercle avec son écrou E.

Fig. 65 *et* 66. Cercle d'attache des tiges de suspension du cuvelage.

Fig. 67 *et* 68. Cuiller de bétonnage : A caisse ; B piston ; S tige du piston ; S' tige de suspension de la cuiller ; *a* clou d'arrêt.

ERRATA DU TOME XVIII.

Les Pl. V, VI et VII portent à tort, dans le texte du mémoire de M. Chaudron, les nos I, II et III.

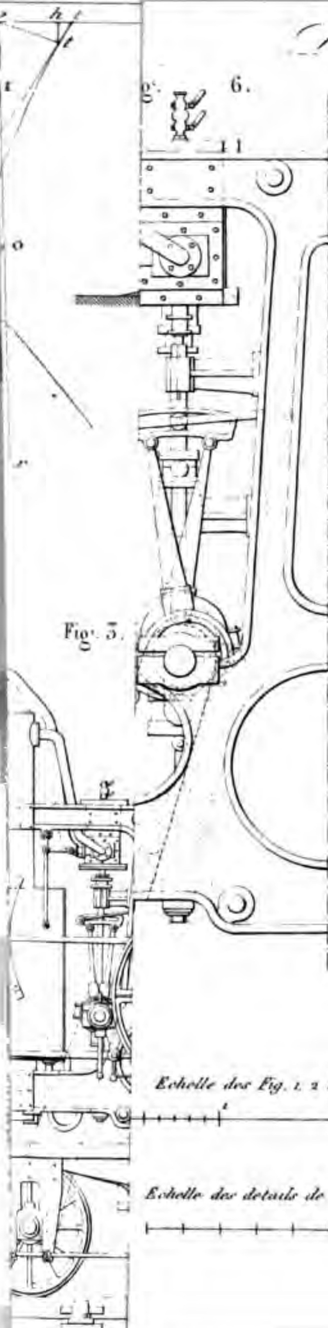
Page 641, ligne 4e, *au lieu de :* cet essieu, *lisez :* le quatrième essieu.

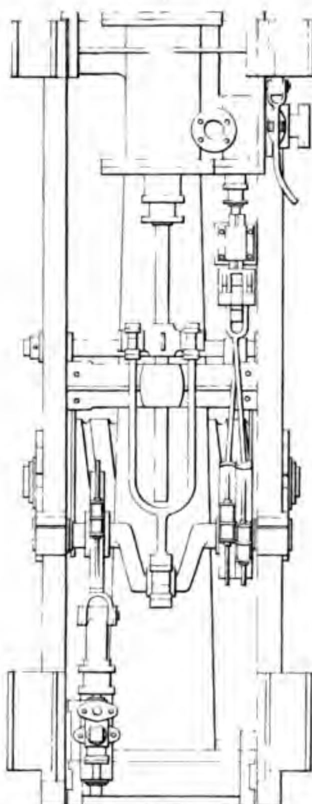
Page 644, ligne 10e, à partir du bas, *au lieu de :* 4.000 tonnes, *lisez :* 4.000 kilog.

FIN DU TOME DIX-HUITIÈME.

Paris. — Imprimé par E. Thunot et Ce, rue Racine, 26.

Détails.





Echelle des Fig. 1, 2 et 3, de 0m 02 pour 1 mètre.

1 2 3 4 mètres

Echelle des details de 0m 05 pour 1 mètre.

1 mètre.

Lemaitre del et sc.

Appareil Bessemer pour l'affinage de la fonte.

...ition de ... cornue ... qu'on y ... la fonte.

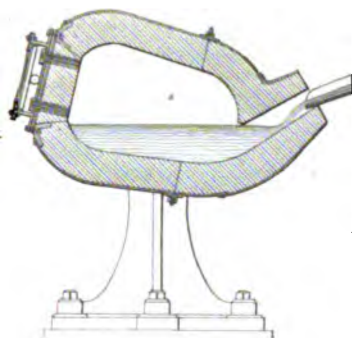


Fig. 6.

...ition de la ... nue pendant ... affinage.

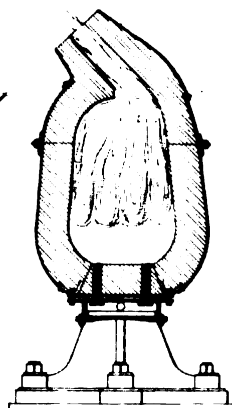
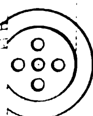


Fig. 7.

Fig. 9.

... Brique à ... uyères.





Coulée du métal affiné.

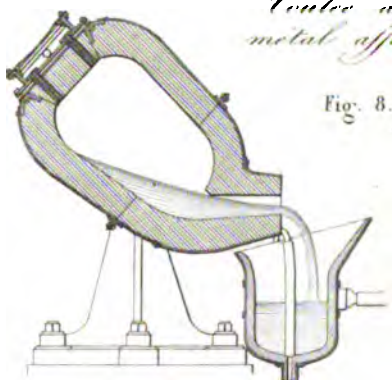


Fig. 8.

du Mollard

les Désert

les Bauch

les Gandis

D c

...te

...rriers

St Pierre

Entremont

les Bandi

... I. (*Mr Favr*

... Pointière

d

c

Entr

...nien _ c Cra...

Rudistes _ n

...ig. III. (*Mr L...*

d'Entremont

... 6 *Gault*

quent,

Fig. 7.

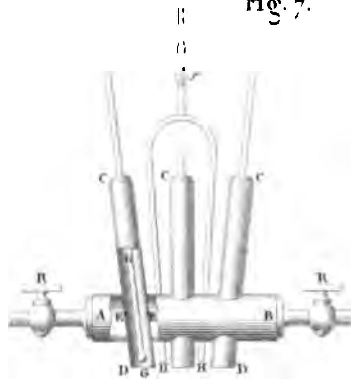


Fig. 13.

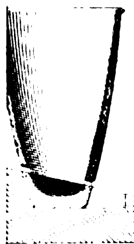


Fig. 12.

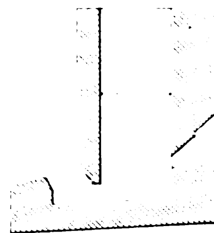


Fig. 9.

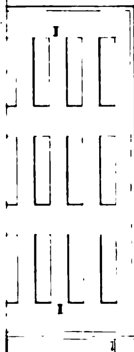
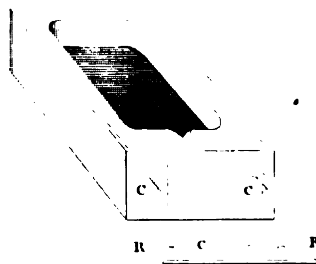


Fig. 10.

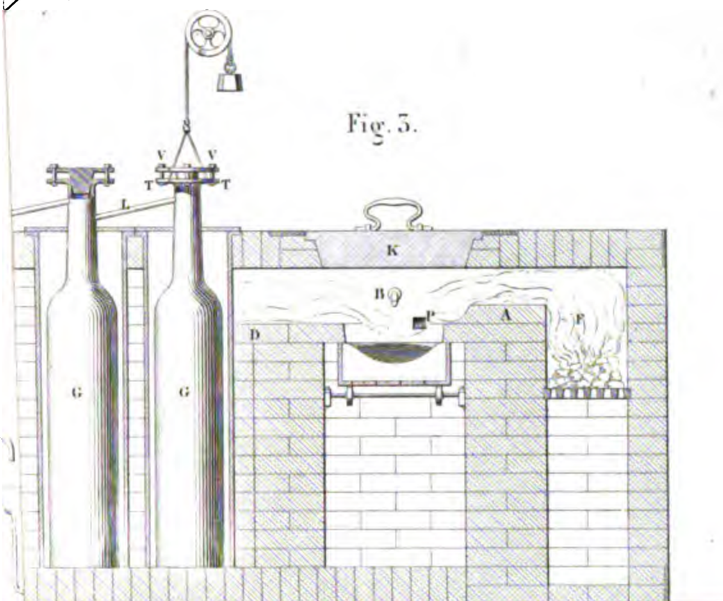


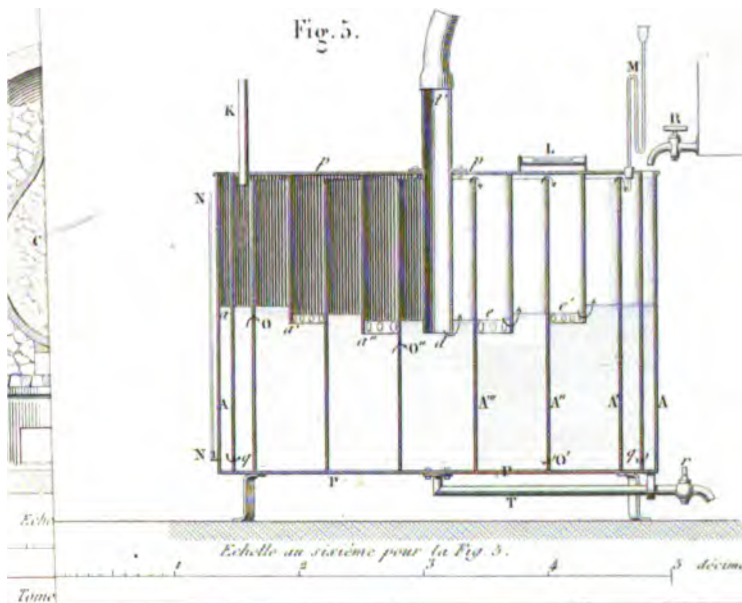
N. Rémond imp. r. Vieille-Estrapade 15 à Paris





...mpagnent.



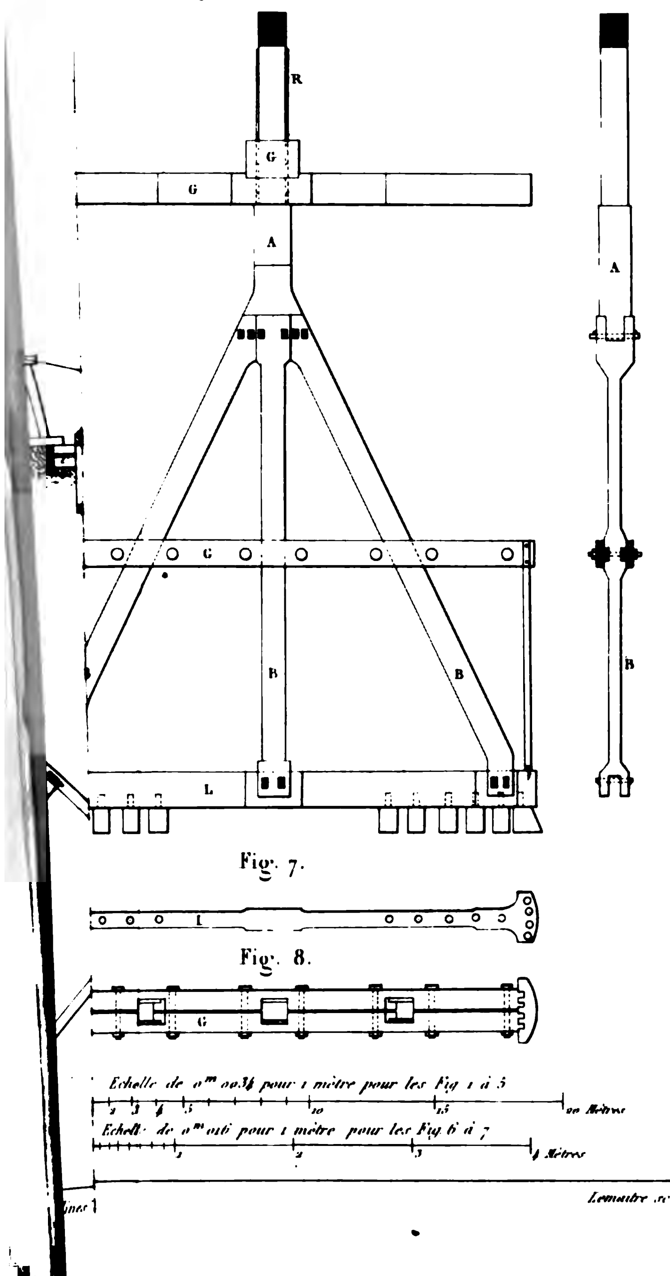


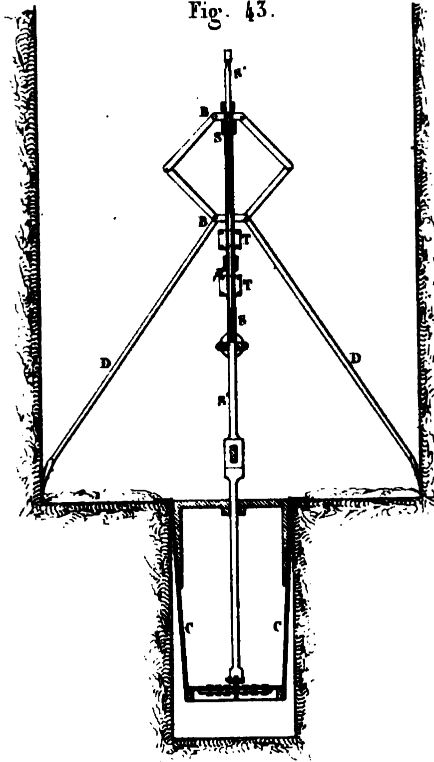
Echelle au sixième pour la Fig. 5.

1 2 3 4 5 décim...

Tome

N. Rémond imp. r. Vieille-Estrapade 15. à Par...


Fig. 6.
Fig. 10.
R
G
G
A
G
B
B
L
A
B
Fig. 7.
I
Fig. 8.
G
Echelle de 0m 0034 pour 1 mètre pour les Fig. 1 à 5
20 Mètres
Echelle de 0m 016 pour 1 mètre pour les Fig. 6 à 7
4 Mètres
Lemaître sc.



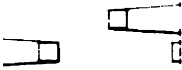


Fig. 13.



L'

G

Fig. 44.

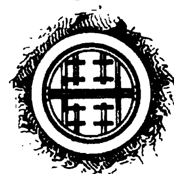


Fig. 46



Fig. 42.

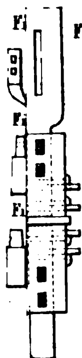


Fig. 47.



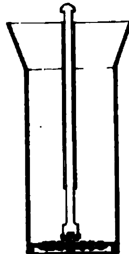


Fig. 45.



Fig. 48.

Lemaître.

Engerth modifié

Fig. 4

...chine

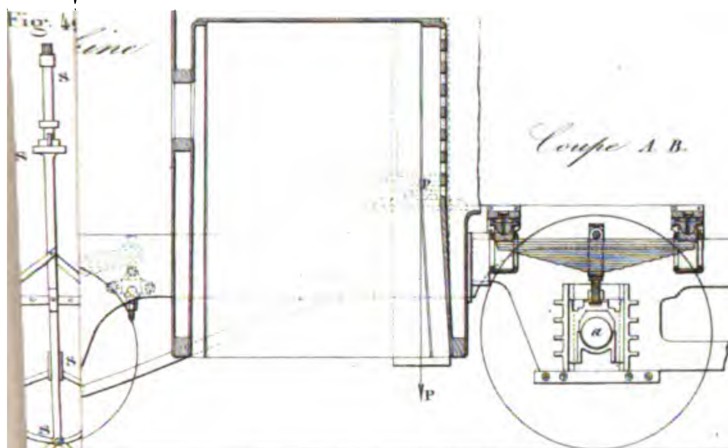


Fig. 74.

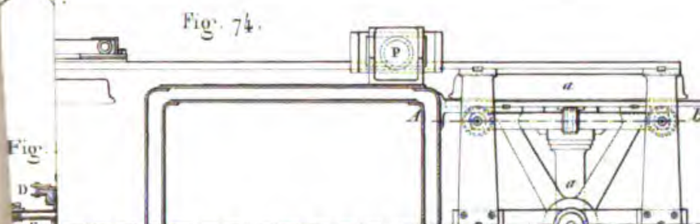


Fig.

...elle de 0^m 025 pour 1 mètre

2 3 4 Mètres

...acé du régulateur Duvoir.

Fig. 75.

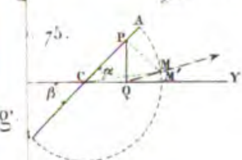


Fig. 76.

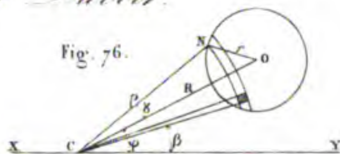


Fig. 77

Z
δ
y
x
M
O
X
d
N

Fig. 78.

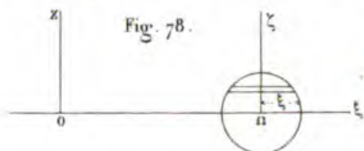
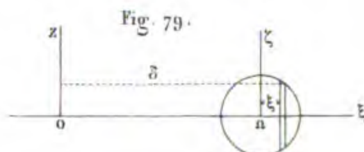
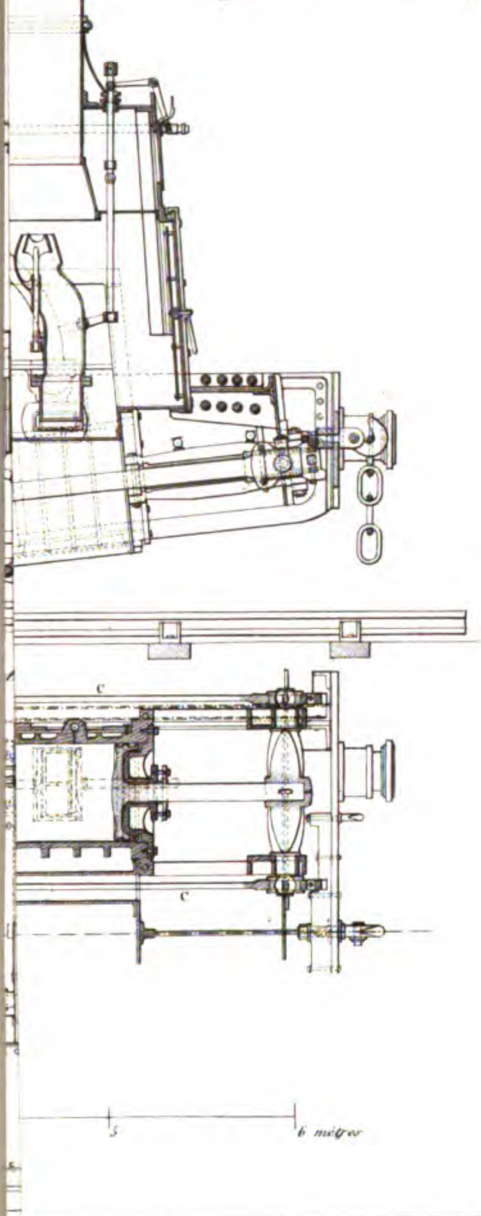


Fig. 79.



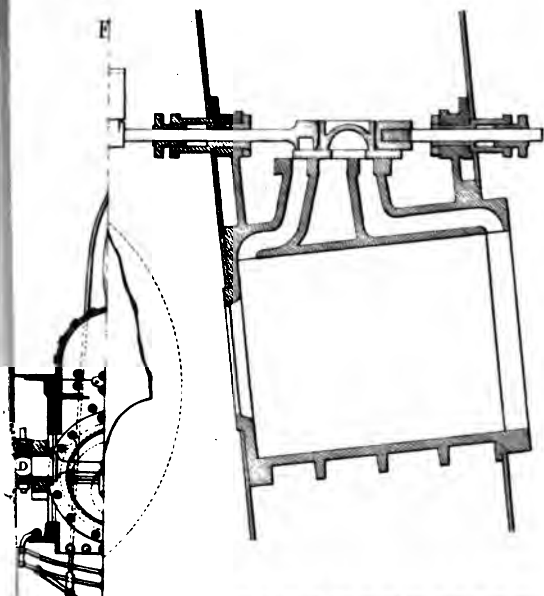
Machine locomotive
dite de montagne
Système E.n Beugniot

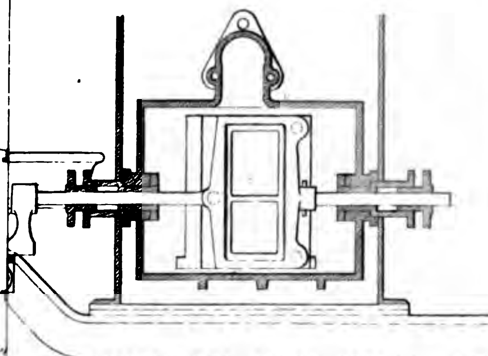


Lemaître del et sc.

Bougnior

Usion





Eche

Lemaître del et sc.





